

Der Einbau
des Faktors Umwelt
in die Theorie
wirtschaftlichen Wachstums

DISSERTATION

vorgelegt dem Fachbereich
Rechts- und Wirtschaftswissenschaften
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Staatswissenschaften (Dr.rer.pol)

1981

von

Karl Manfred Sauer



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552617_0015

Der Einbau
des Faktors Umwelt
in die Theorie
wirtschaftlichen Wachstums

DISSERTATION

vorgelegt dem Fachbereich
Rechts- und Wirtschaftswissenschaften
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Staatswissenschaften (Dr.rer.pol)

von

Karl Manfred Sauer



Erstberichterstatter:

Prof.Dr. Stöwe

Zweitberichterstatter:

Prof.Dr. Laven

Tag der mündlichen Prüfung:

16.Dez. 1981

Der Einbau des Faktors Umwelt in die
Theorie wirtschaftlichen Wachstums

Inhaltsverzeichnis	Seite
I. Alternative Möglichkeiten bei der Be- achtung der Umweltfaktoren	
§ 1 Einleitung	1
A. Gründe für eine umfassendere Be- rücksichtigung der Umweltfaktoren in der Theorie wirtschaftlichen Wachstums	
1. Quantitatives Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität als Wohlstandsindikator	
2. Unzureichende Erfassung der Umweltfaktoren	2
B. Systematik der Arbeit	7
§ 2 Dimensionen der Umwelt und Anknüpfungs- punkte für Ökonomen	
A. Feed-back-Effekte wirtschaftlicher Aktivität auf die Lebewesen	8
B. Feed-back-Effekte auf die Lebens- räume	10
C. Umwelt im Hinblick auf die funktio- nale Beziehung zur wirtschaftlichen Aktivität und das Aggregationspro- blem	12
D. Typische Ansätze für Ökonomen	13
1. Wirtschaftspolitische und -theo- retische Ansätze	14

2. Partial- und Totalanalyse	15
3. Zeit	16
4. Bevölkerung	17
5. Technischer Fortschritt	18
6. Substitutionselastizität	19
7. Rohstoff	20
8. Umweltqualität	23
9. Theoretischer Rahmen	24
10. Resümee	24

F. Umweltproblematik aus der Sicht verschiedener Disziplinen	25
---	----

II. Pessimistische Wachstumstheorien

§ 1 Berichte an den Club of Rome

A. Bericht unter Leitung von Meadow: Grenzen des Wachstums	26
B. Bericht unter Leitung von Mesarovic: Die Menschheit am Wendepunkt	30
C. Bericht von Tinbergen: Wir haben nur eine Zukunft	30

§ 2 Formulierung eines neomalthusianischen Ansatzes

A. Ansatz mit Umweltqualität	31
B. Ansatz mit Rohstoffbestand	33
C. Resümee	33

III. Optimistische Wachstumstheorien

§ 1 Hypothesen, Definitionen und Annahmen

A. Umweltdefinition	34
B. Feed-back-Effekte	34
C. Aggregationsproblem	34
D. Kausalbeziehungen	35
E. Homogenität	35
F. Emissionen und Immissionen	35

§ 2 Postkeynesianische Ansätze	
A. Einbau des Faktors Umweltqualität in die Wachstumstheorie	36
1. Ansatz bei exogen Fortschrittsarten	36
2. Modifiziertes Harrod-Domar-Modell mit endogener Verteilung der Fortschrittskomponenten F und U	51
3. Modifiziertes Domar-Modell mit gebundenem technischen Fortschritt	59
B. Einbau des Faktors Ressourcen in die Wachstumstheorie	64
C. Resümee und Kritik	67
§ 3 Neoklassische Ansätze	68
A. Swan-Solow-Modell mit Umweltqualität von Strøm	69
B. Solow-Modell mit knappen Ressourcen	77
1. Cobb-Douglas-Funktion	
2. CES-Funktion	81
3. CES-Funktion und umweltfreundlicher technologischer Fortschritt	83
4. Resümee	84
C. Solow-Stiglitz-Modell mit von Rohstofflagern abhängiger Produktivität	85
D. Kritische Bemerkungen zur Neoklassik	97
1. Statische Stabilitätsanalyse	
2. Ökonomische Relevanz von Ungleichgewichten	97
3. Integration des Faktors technischer Fortschritt im ökonomischen Modell	98

IV. Wohlfahrtstheoretische Ansätze

§ 1 Dynamische Ansätze unter verschiedenen Aspekten

A. Die fortschrittsorientierte Richtung der dynamischen Wohlfahrtstheorie unter besonderer Beachtung knapper Rohstoffe	99
B. Substitutionsorientierte Richtung	103
C. Marktorientierte Richtung	103

§ 2 Allgemeiner Ansatz und Entwicklung eines Modelles

A. Berücksichtigung der Umwelt in der dynamischen Wohlfahrtstheorie	105
B. Ansatz mit dem Faktor Ressourcen	107
1. Nutzenfunktion	
2. Produktionsfunktion	
3. Zustandsvariablen	108
4. Herleitung der Hamilton-Funktion	110
5. Die dynamische Optimierungsfunktion	
6. Ableitungen der Hamilton-Funktion	112
7. Verlauf der Schattenpreise	115
8. Herleitung der Wachstumsrate des Pro-Kopf-Konsums	116
9. Resümee	118

V. Ökonomischer Ansatz über Engpaßsituationen in der Theorie wirtschaftlichen Wachstums	
§ 1 Einordnung dieses ökonomischen Ansatzes	
A. Zweck des Ansatzes	119
B. Verhaltenshypothesen für Umweltko- effizienten in Engpaßsituationen	120
C. Engpaßgrenzen bei konstanten alter- nativen Veränderungsrate der Um- weltkoeffizienten	122
1. Umweltqualität	
2. Ressourcen	124
3. Resümee	125
D. Bedingungstheoretische Hypothesen für logarithmische Wachstumsverläufe	
1. Biologischer Ansatz	126
2. Ökonomischer Ansatz	129
3. Resümee	130
§ 2 Ansatz mit dem Faktor Umweltqualität	
A. Annahmen, Hypothesen des Engpaßan- satzes	132
1. Einkommenspfade	
2. Angebot an Emissionen $PA(t)$	133
3. Nachfrage nach Emissionen $PN(t)$	135
4. Die Emissionen $P(t)$	136
5. Der Schadstoffkoeffizient	137
B. Ableitungen und Finalgleichungen	141
1. Verlauf von $P^*(t)$	
2. Verlauf der staatlich garantier- ten Umweltqualität $Q^*(t)$	142
3. Gewollte Abgabe an Emissionsstof- fen $RN(t)$	144
4. Verlauf von $PA(t)$	148
5. Entwicklungspfad des Volkseinkom- mens $Y(t)$	149

C. Resümee	150
D. Zahlenbeispiele	153
1. Annahmen	
2. Einkommens- und Emissionsverläufe bei verschiedenen Flexibilitäten	154
3. Verlauf von $PN(t)$	155
4. Verlauf von $PA(t)$	155
5. Abbildung	156
6. Verläufe des Schadstoffkoeffizienten	157
7. Verläufe des Volkseinkommens bei verschiedenen Flexibilitäten	158
8. Resümee	160
E. Umweltprobleme bei offenen Volkswirtschaften	
1. Einfluß von Umweltarmut und -reichtum auf die Handelsströme	161
2. Emissionen als grenzüberschreitender Faktor	163
§ 3 Ansatz mit Berücksichtigung der Ressourcen	164
A. Hypothesen, Annahmen des engpaßtheoretischen Ansatzes	
1. Einkommenspfade	
2. Angebot und Nachfrage nach einem bestimmten Rohstoff	165
3. Der Rohstoffkoeffizient	166
B. Ableitungen und Finalgleichungen	168
1. Verlauf von $V^*(t)$, der erlaubten Förderquote	
2. Verlauf der garantierten Mindestvorräte	169
3. Verlauf von Rohstoffnachfrage und -angebot	
4. Entwicklungspfad des Volkseinkommens	171
C. Resümee	173

D. Zahlenbeispiele	175
1. Basisdaten	
2. Einkommensverläufe	178
3. Verläufe der Rohstoffkoeffizienten	
4. Verläufe des Rohstoffangebotes	
5. Tabelle für die langfristige Verzögerung r , mit der die wirtschaftliche Aktivität dem Gleichgewichtspfad folgt	179
6. Einkommen bei stationärer Volkswirtschaft	
7. Resümee	180
E. Besondere Probleme in einer offenen Wirtschaft	
1. Hypothesen, Annahmen und Definitionen	181
2. Eintritt der Rohstoffverknappung	182
3. Zahlenbeispiel	183
4. Verschiedene Flexibilitäten	184
5. Zahlenbeispiel	186
6. Resümee	188
§ 4 Umweltfaktoren als Engpaßvariable	
A. Disaggregation von Schadstoff- und Rohstoffkoeffizienten	189
B. Entwicklungspfad der wirtschaftlichen Aktivität	193
1. Langfristig angestrebter Entwicklungspfad des Volkseinkommens	
2. Bedeutung der Lage des Engpaßfeldes für den Einkommensverlauf	193
3. Resümee	196
§ 5 Engpaßansatz mit kurzfristigen Substitutionsmöglichkeiten	
A. Einbau der CES-Funktion in den Engpaßansatz	197
1. Ableitung der partiellen Produktionselastizitäten	

2. Ableitung der Wachstumsraten	198
3. Zeitliche Veränderung der partiellen Produktionselastizität des Umweltverbrauchs	199

B. Substitutionshypothese

1. Wachstumsrate der partiellen Produktionselastizität	201
2. Errechnung von w_G	201
3. Errechnung von $\sigma(t)$	202
4. Errechnung von $\sigma^*(t)$	203
5. Substitutionselastizitätshypothese	203

C. Verläufe

1. Verlauf der partiellen Produktionselastizität des Umweltverbrauchs $\alpha(t)$	204
2. Verlauf der Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität	206
3. Verlauf der wirtschaftlichen Aktivität	208
4. Verläufe der Koeffizienten $x(t)$ und $z(t)$	208

D. Zahlenbeispiele

1. Basisdaten	210
2. Tabelle	211
3. Verlauf der partiellen Produktionselastizität	212
4. Verläufe der durchschnittlichen Substitutionselastizität	214
5. Verläufe der Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität	214

E. Resümee	217
------------	-----

§ 6 CES-Funktion mit endogenem umweltfreundlichen technischen Fortschritt

A. Ansatz bei exogenem umweltfreundlichen technischen Fortschritt	218
---	-----

B. Endogenisierung des umweltfreundlichen technischen Fortschritts durch die Flexibilitätshypothese	221
§ 7 Zusammengefaßte Ergebnisse der Engpaßansätze	
A. Annahme der Kontingentierung der Umweltfaktoren	224
B. Flexibilitätshypothese	224
C. Verlauf der Wachstumsrate des Sozialprodukts	226
VI. Gegenüberstellung der wichtigsten Ergebnisse in Bezug auf den Verlauf der Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität und der Abhängigkeit der wirtschaftlichen Aktivität von den Umweltfaktoren	
§ 1. Verlauf der Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität unter Berücksichtigung der Umweltfaktoren	
A. Die Bedeutung der Wachstumsgrenzen in den Ansätzen	
1. Errechnung der Wachstumsgrenzen	227
2. Erreichung der Wachstumsgrenzen	227
3. Überschreiten der Wachstumsgrenzen	228
B. Lenkung der Entwicklungsrichtung der wirtschaftlichen Aktivität	228
C. Verlauf der Wachstumsrate des Sozialprodukts	230
§ 2. Verlauf der Umweltkoeffizienten bei Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität	
§ 3. Intertemporale Verteilung der Umweltfaktoren	
§ 4. Stellenwert des Wachstums in den Theorien	232
VII. Kontingentierungsverhalten bei wichtigen Umweltfaktoren	

§ 1 Kontingentierungsverhalten bei verschiedenen Ressourcen	
A. Kartellierungsverhalten beim Rohöl	234
B. Kontingentierungsverhalten bei regenerierbaren Ressourcen	235
§ 2 Konservierungsverhalten bei Umweltqualität	
A. Verhalten im nationalen Bereich	236
B. Verhalten im internationalen Bereich	236

VIII. Schlußbemerkungen	238
-------------------------	-----

I. Alternative Möglichkeiten bei der Beachtung der Umweltfaktoren

§ 1 Einleitung

A. Gründe für eine umfassendere Berücksichtigung der Umweltfaktoren in der Theorie wirtschaftlichen Wachstums

1. Quantitatives Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität als Wohlstandsindikator

Heute, im letzten Drittel des 20sten Jahrhunderts, ist quantitatives Wachstum als alleiniger Indikator des Wohlstands zunehmend in Kritik geraten. Diese Entwicklung kann nicht nur mit der uralten Erkenntnis erklärt werden, daß Glück, Zufriedenheit und materieller Wohlstand sich nicht unbedingt entsprechen müssen.

Die Hauptursachen für das Abrücken von den Wachstumsmaximen der 60er Jahre liegen nach Auffassung der Mehrheit heutiger Ökonomen in einem breiten Überschreiten der Sensibilitätsschwellen in den Industrieländern, vor allem in der westlichen Hemisphäre und Japan.¹⁾ Unter Sensibilitätsschwellen sollen die Reizschwellen zwischen Menschen und den anderen Umweltfaktoren der Volkswirtschaft verstanden werden, die aufgrund der Höhe der wirtschaftlichen Aktivität überschritten werden können und dann feed-back-Effekte der wirtschaftlichen Aktivität über die Dimensionen Raum und Zeit an die Bevölkerung spürbar weiterleiten.

Eine der Sensibilitätsschwellen liegt im Gesundheitsbereich²⁾. Hier ist in letzter Zeit ein massiertes Auftreten der körperlichen, seelischen und sogenannten gesellschaftlich bedingten Wohlstandskrankheiten festzustellen, die man nicht mehr ignorieren kann und deren Ursachen man zu analysieren versucht. Hierunter wären

1. Vgl. Schimmang, Wolf, "Industrialisierung und Ökologie!" in: Weltprobleme, hrsg. von Bayerischer Landeszentrale für Politische Bildungsarbeit, 1980, S. 130 ff.
2. Vgl. Schlippköter, "Die Luftverunreinigung als gesundheitliches Problem", in: Umweltreport, hrsg. von H. Schultze, Frankfurt 1972, S. 200 ff.

u.a. physische Krankheiten wie Krebs, Herzinfarkt, Diabetes, Hochdruck, seelisch bedingte Krankheiten wie Depressionen, Aggressionen, Streß, Neurosen und schließlich gesellschaftlich verursachte Krankheiten wie Alkohol-, Nikotin- und Rauschgiftsucht, aber auch kriminelle Delikte wie Jugendkriminalität wären hier unterzuordnen, wobei berücksichtigt werden muß, daß die Einteilung eine weitgehend definitivische Angelegenheit ist.

Ein weiterer Komplex ist die Belästigung und Beeinträchtigung der Sinnesorgane des Menschen¹⁾. Diese Sinnesorgane werden durch zeitweise und räumliche Spitzenbelastungen der Umweltqualität, die sich in Lärm, Geruch, giftigen Abgasen, Erschütterungen u.ä. und der Reduzierung der Grundnahrungsmittel im weiteren Sinne äußern, in Mitleidenschaft gezogen. Grundnahrungsmittel im weiteren Sinne schließen die relativ freien Güter wie Wasser und Luft in den Nahrungsmittelbegriff mit ein. Weitere Probleme ergeben sich durch die Abfälle der wirtschaftlichen Aktivität, welche hier mit Emissionen bezeichnet werden und zu einem beträchtlichen Teil anorganisch sind und Schwierigkeiten bei der Beseitigung und Vernichtung bereiten, die Energiesicherung und deren Risiken, dem Auseinanderklaffen der Wohlstandsgefälle im nationalen und internationalen Vergleich und die Ausbeutung von Rohstoffen, die knapper werden²⁾. Bevölkerungsentwicklungs-, Verstädterungs- und Nahrungsmittelprobleme gehören heute noch zu den ungelösten Weltproblemen, wobei allerdings erwähnt werden muß, daß Industrie- und Entwicklungsländer wegen der unterschiedlichen Ausgangslage verschieden auf diese Problemkreise

1. Welche Maßnahmen z.B. Rhld.-Pfalz dagegen ergreift, siehe in: Umweltschutz in Rheinland-Pfalz, hrsg. v. Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Umweltschutz, Mainz 1978
2. Vgl. hierzu in: Weltprobleme, hrsg. v. BLZ für pol. Bildungsarbeit, folgende Aufsätze: Ruhenstroth-Bauer, Wolfram, Wachstum des Hungers, S. 83 ff. und Eberhard von Pilgrim, Internationale Rohstoffprobleme in der Diskussion, S. 211 ff.

reagieren¹⁾. Es ließen sich noch viele andere gewichtige Gegenwartsprobleme aufzählen, die die Umweltfaktoren tangieren. Darauf soll allerdings hier verzichtet werden.

Die angesprochenen Probleme stehen ohne Zweifel in gegenseitiger Abhängigkeit zu der wirtschaftlichen Aktivität des Menschen, funktionale Beziehungen nachzuweisen, bereitet allerdings erhebliche Schwierigkeiten. Diese Schwierigkeiten beruhen zu einem großen Teil auf unvollkommener Information. Unvollkommene Information bietet allerdings oftmals gesellschaftspolitischen Strömungen eine gute Ausgangsposition, die aufgrund ihrer apokalyptischen Visionen Forderungen nach Wachstumsstopp und Systemüberwindung aufstellen²⁾. Manche Strömungen stellen noch weitreichendere Forderungen auf, z.B. die 'Zurück zur Natur'-Bewegungen, die vor allem unter jungen Menschen Anhänger finden.

Es wäre also festzuhalten, daß nicht nur quantitatives Wachstum den Wohlstand einer Gesellschaft vermehren kann, sondern auch die Gefahr besteht, daß negative feed-back-Effekte der wirtschaftlichen Aktivität den erwähnten Vorteil ins Gegenteil verkehren können.

2. Unzureichende Erfassung der Umweltfaktoren

Umwelt wird hier als das Medium definiert, aus welchem die wirtschaftliche Aktivität ihre gesamten Inputströme bezieht und an welches sie ihre gesamten Outputströme wieder abgibt. Die Umwelt wird dabei durch die Umweltfaktoren Bevölkerung, Ressourcen, Kapital, Konsumgüter und Umweltgüter des Wassers, der Luft und des Bodens hinreichend erfaßt. Dieser umfassende Umweltbegriff wurde früher nicht verwandt. Die berücksichtigten Faktoren beschränkten sich vielmehr auf Bevölkerung, Kapitalgü-

1. Vgl. Schmid, Josef, "Das Weltbevölkerungsproblem und die Vereinten Nationen", in: Weltprobleme, hrsg.v. BLZ für pol. Bildung, München 1980, S. 48ff., 42ff.
2. Vgl. Opitz, Peter J., "Einführung", in: Weltproblem, a.a.O., S. 15 ff.

wirken über die Dimensionen Zeit und Raum auf die wirtschaftliche Aktivität bzw. Umweltfaktoren ein. Es bleibt allerdings nicht bei den in Abb. I gezeigten Input- und Outputströmen, sondern es kommt zu feed-back-Effekten, in welchen die Umweltfaktoren untereinander über die Dimensionen Zeit und Raum auf die durch Input- und Outputströme veränderte Lage der Umweltfaktoren reagieren. Es sind auch Rückwirkungen von der wirtschaftlichen Aktivität zu den Umweltfaktoren und vice versa möglich. Beispielsweise wären die Wirkungen einer durch die wirtschaftliche Aktivität veränderten Umweltqualität auf Konsumgüterqualität, -quantität, auf Menschen, Fauna und Flora zu nennen, wobei die Dimensionen Zeit und Raum Transformationsdienste leisten. Auf die zeichnerische Darstellung solcher Ströme wird verzichtet, da sonst die Gefahr bestünde, daß der Aussagewert der Abb. I geschmälert würde.¹⁾

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die meisten ökonomischen Ansätze sich früher vorwiegend mit quantitativem Wachstum beschäftigten und dabei wichtige feed-back-Effekte vernachlässigt wurden. Außerdem wurden nicht alle Umweltfaktoren wie z.B. Umweltqualität und Ressourcen erfaßt.

Sieht man einmal von der neueren Entwicklung ab, die mit dem Aufsatz von Pigou²⁾ und von Hotelling³⁾ anzusetzen wäre, so ist auch in der älteren Literatur die Berücksichtigung einzelner Elemente des Faktors Umwelt zu finden.⁴⁾ Betrachtet man die unter dem Sammelbegriff Merkantilisten zusammengefaßten recht unterschiedlichen Auffassungen von Ökonomen - gemeinsam war ihnen, daß sie die Gesamtzusammenhänge einer Wirtschaft noch nicht

1. Vgl. Siebert, Horst, Das produzierte Chaos, Ökonomie und Umwelt, Stuttgart 1973, S. 30 ff.

2. Vgl. Pigou, A.C., "The Economics of Welfare", London 1920

3. Vgl. Hotelling, H., "The Economics of Exhaustible Resources", in: *Journal of Political Economy*, Bd. 39 (April 1931), S. 137 ff.

4. Schon ehe die Ökonomie eine eigene Disziplin war, sind solche Elemente bis in die Antike hinein zu finden.

erkannten und eher wie einzelne Wirtschaftssubjekte handelten - so stellt man fest, daß diese den Rohstoffen eine bedeutende Rolle zumaßen, die landwirtschaftlichen Erzeugnisse jedoch zu reinen Kostengütern degradierten. Man sah den Wohlstand in einer überschüssigen Handelsbilanz, legte das Hauptgewicht auf die Be- und Verarbeitung und versuchte die Löhne durch geringe Agrarpreise niedrig zu halten.

Dieser Überbetonung von Handel und Gewerbe und der Rohstoffförderung folgte mit den Physiokraten ein Pendelschlag in die andere Richtung. Der Boden als Nahrungsmittellieferant wurde als einziger Produktivfaktor gesehen.

Spätere Studien über die Entwicklung von Bodenerträgen und der Bevölkerung führten u.a. bei Malthus zu pessimistischen Zukunftsprognosen. Später sah man das Wohl der Gesellschaft eher in Abhängigkeit vom Faktor Kapital und der Einkommensverteilung¹⁾. Die allmähliche Loslösung vom Faktor Umwelt brachte dann im Laufe der industriellen Entwicklung eine beispielelose Beanspruchung jeglicher Umweltdienste mit sich. Diese Überbeanspruchung der Umwelt löste jedoch in vielen Bereichen Schutzbewegungen aus, die ihren Höhepunkt darin fanden, daß bestimmte Pflanzen vor der Ausrottung geschützt und daß Reservate für seltene Tiere und Pflanzen geschaffen wurden. Ferner wurden Naturparks und Erholungsgebiete ausgewiesen.²⁾ Diese unkoordinierte Umweltpolitik wurde nicht betrieben, weil man einen gezielten Beitrag zum Wohlstand erreichen wollte, sondern sie wurde durch die Naturschutzbewegungen erzwungen, ohne jedoch in der ökonomischen Theorie Resonanz zu finden. Der durch den zweiten Weltkrieg ausgelöste Mangel an materiellem Wohlstand verschob die Thematik bis in unsere Zeit, in der sie jetzt auch ausgiebig behandelt wurde.

1. Vergleiche hierzu den Überblick bei Siebert, Horst, Umwelt und wirtschaftliche Entwicklung, 1979

2. So nehmen heute die rheinlandpfälzischen Naturparks mit 3524 qkm 18 % der Landesfläche ein.

B. Systematik der Arbeit

In den folgenden Kapiteln wird zu beantworten versucht, welche Wirkungen eine umfassende Beachtung der Umweltfaktoren auf die Entwicklung der ökonomischen Aktivität hat. Folgende Fragen treten dabei auf:

- Ist die Entwicklung der ökonomischen Aktivität lenkbar?
- Inwieweit ist Wachstum und Abbau der Umweltabhängigkeit der wirtschaftlichen Aktivität möglich?
- Kann es gleichgewichtiges Wachstum geben bzw. soll es angestrebt werden?

Ausgangspunkt dieser Arbeit sind in Kapitel II die pessimistischen Berichte an den Club of Rome, die auf ihre ökonomische Aussagekraft analysiert werden. Diesen wachstumskritischen Ansätzen werden in Kapitel III modifizierte postkeynesianische und neoklassische Ansätze gegenübergestellt, in welchen die Bedingungen für Wachstum analysiert werden. Ergänzend wird in Kapitel IV auf zusätzliche Bedingungen für Wachstum hingewiesen, die allerdings nur im Rahmen der dynamischen Wohlfahrtstheorie aufgezeigt werden können. Die bisher erwähnten Ansätze wurden mit Hilfe von Strukturgleichungen, die in der Regel von angegebenen Ökonomen übernommen wurden, abgehandelt.

In Kapitel V wird nun versucht, eigene Ansätze zu erarbeiten, indem mit Hilfe eines Flexibilitätsindicators der neomalthusianische Wachstumspessimismus und der neoklassische Wachstumsoptimismus erklärt werden. Ferner werden die Anpassungsschwierigkeiten aufgezeigt, die entstehen, wenn ein relativ freies Gut zu einem knappen Gut wird und welche Wachstumsverläufe der wirtschaftlichen Aktivität entstehen können.

§ 2 Dimensionen der Umwelt und Anknüpfungspunkte für Ökonomen

Ehe nun auf die vorher erwähnten Ansätze eingegangen wird, soll untersucht werden, warum es nicht ratsam ist, die durch die wirtschaftliche Aktivität hervorgerufene Umweltveränderungen direkt in einer Wohlfahrtsfunktion zu erfassen. Dies würde die Hypothese zugrundelegen, daß bestimmte Veränderungen der Umweltfaktoren, die durch die wirtschaftliche Aktivität verursacht wurden, bestimmte Veränderungen der Wohlfahrt verursachen. Ferner wird zu beantworten versucht, warum die modifizierten ökonomischen Ansätze nicht Immissionen, sondern stets Emissionen berücksichtigen.

A. Feed-back-Effekte wirtschaftlicher Aktivität auf die Lebewesen ¹⁾

Verwendet man nun die Umweltdefinition wie sie der Abb. I zugrundegelegt wurde, so kann die Welt der Lebewesen in Fauna, Flora und die Welt des Menschen untergliedert werden. Die ökonomische Aktivität des Menschen jedoch bleibt nicht auf seinen Bereich beschränkt, sondern es bestehen Interdependenzen zu Fauna und Flora. Da nun zwischen Flora, Fauna und dem Menschen gegenseitige Abhängigkeiten bestehen, dürfen durch die Aktivitäten in einem Gebiet im anderen keine Existenzgefahren entstehen. Die Vorgänge müssen derart gestaltet sein, daß die Welten eine relative Stabilität aufweisen. So spielte die Fauna und Flora lange Zeit nicht nur als Nahrungsquelle für den Menschen eine Rolle, sondern Pflanzen und Tiere haben für den Menschen auch einen Wert als Roh- und Sauerstofflieferant, als Klima- und Wasserregulatoren, als Arbeitskräfte und schließlich den Wert als Mitgeschöpfe. Heute unumstritten ist, daß sich der Mensch aus diesen Welten entwickelt hat, damit ähnlichen oder gleichen natürlichen Gesetzmäßigkeiten wie diesen unterliegt. Weiter wäre festzustellen,

1. Siebert, Horst, Das produzierte Chaos, S. 30 ff.

daß der Mensch von diesen Welten nicht losgelöst wurde, vielmehr üben Fauna und Flora weiter auf seine Physiognomie, seine Psyche, sein gesamtes Wohlbefinden Einfluß aus. Wie weit dieser Einfluß geht, ist noch weitgehend unerforscht.

Nun hat sich jedoch durch die Industrialisierung hauptsächlich im letzten Jahrhundert herausgestellt, daß der Mensch so stark in Fauna und Flora eingriff, daß dort globale Wandlungen erfolgten in Richtung einer Reduzierung der Vielfalt irdischen Lebens. Solche Angriffe auf die Vielfalt des Lebens gab es auch schon vor der Zeit des Menschen - zu denken wäre an das Aussterben der Saurier und anderer Urtiere - aber noch nie wurde so die Stabilität der biologischen Teilgleichgewichte durch den Menschen ins Wanken gebracht¹⁾. Die Sünden aus der Römerzeit, das Abholzen der Wälder im Mittelmeerraum verbunden mit Nichtaufforstung, die Umwandlung der nördlichen Halbkugel in größtenteils Kultursteppe, der Trend auch in den Wäldern zu Monokulturen, zerstörte die biologischen Teilgleichgewichte derart, daß ganzen Gattungen von Tieren und Pflanzenarten, welche, wie alles in der Natur, bestimmte Funktionen erfüllen, die Lebensgrundlage entzogen wurde.

Diese vom Menschen verursachte Labilität biologischer Teilgleichgewichte führt zum Aufblähen verschiedener Tier- und Pflanzenarten, die vom Menschen sehr häufig in Bezug auf Gesundheit und Agrarwirtschaft als Schädlinge empfunden werden. Chemische Bekämpfung führt dann oftmals zu schädlichen Nebenwirkungen.²⁾

Will man all diese Probleme in einer Wohlfahrtsfunktion berücksichtigen, dann hat man es mit Veränderungen zu tun, die ihre Ursache in der Vergangenheit haben und zum Teil als Spätfolgen bezeichnet werden können. Zum anderen werden sich die Folgen der heutigen wirtschaft-

-
1. Vgl. hierzu die Beispiele von Schimmang, Wolf, a.a.O., S. 126 f., 136 f.
 2. Vgl. Schädle, Werner, "Trockenzonen der Erde - Die Natur hat die Balance verloren!", in: Weltprobleme, hrsg. v. BLZ. für pol. Bildung, München 1980, S. 147ff

lichen Aktivität zum Teil erst in der fernen Zukunft bemerkbar machen. Solche Spätfolgen auf ihre Ursachen zurückzuführen, ist allerdings schwierig, da bei Zeiträumen von über 100 Jahren viele Einflußgrößen berücksichtigt werden müssen. Ein weiteres Problem besteht in der Bewertung von Lebewesen. Was sind Tiere, Pflanzen und Menschen wert, inwieweit reduziert sich der Wert durch Krankheiten? Solche Fragen sind sehr schlecht zu beantworten, als theoretisch widerspruchsfrei können sie nicht gelten. Die Eingriffe des Menschen durch seine ökonomische Aktivität auf die Natur und damit verbundene Rückwirkungen auf die Qualität des Lebens zu erfassen und zu bewerten und dabei auch Krankheiten, gesellschaftliches Fehlverhalten zu berücksichtigen, wäre ein wünschenswerter umfassender Ansatz, aber unter heutigen Verhältnissen nur sehr schwer realisierbar. Deshalb wird dieser Ansatz auch nicht von den Ökonomen verfolgt. Solch ein Ansatz könnte, wenn er angestrebt würde, nur interdisziplinär durchgeführt werden.

B. Feed-back-Effekte auf die Lebensräume

Letzten Endes ist - wie oben gezeigt wurde - der Einfluß auf das Leben selbst interessant, allerdings schwer analysierbar. Deshalb geht man heute gern bei den Ökonomen von den Lebensräumen Wasser, Luft und Boden aus und übernimmt von den anderen Disziplinen, unter welchen Bedingungen dort tierisches, pflanzliches und menschliches Leben möglich ist. Die Ökonomen analysieren nun i.d.R. unter welchen Voraussetzungen sich die von der wirtschaftlichen Aktivität hervorgerufenen Umweltschäden in den von den Naturwissenschaftlern und Medizinern aufgezeigten Grenzen bewegen. Umweltschutz befaßt sich deshalb im Gegensatz zu Tier- und Pflanzenschutz nicht mit dem Schutz bestimmter Lebensarten, sondern mit den durch wirtschaftliche Aktivität ausgelösten Emissionen. Man untersucht unter welchen Bedingungen diese Umweltmedien welche Quantitäten von Emissio-

nen assimilieren, ohne daß kurz- und langfristige Schäden entstehen bzw. die Schäden noch tolerierbar sind. Das Zusammenwirken von einzelnen vielleicht harmlosen Emissionsstoffen, die im Umweltmedium über Transformations-, Diffusionsprozesse zu Immissionen führen, sind nicht ohne Schwierigkeiten auf die Emissionen rückführbar. Weiterhin gibt es Schwierigkeiten bei der Feststellung von Emissionen. Aktuelle Probleme wären das latente Strahlungspotential, das mit dem Uranabbau anfällt, das Treibgas in den Spraydosen, welches eine Veränderung der Ozonschicht hervorrufen kann und damit eine Steigerung der kosmischen Strahlung verursacht sowie die Ölverseuchung der Meere, wodurch u.a. die Sauerstoffproduktion durch die Photosynthese des Phytoplanktons beeinträchtigt wird.¹⁾

Die Lebensräume spielen allerdings auch für die Rohstoff- und Energiegewinnung eine Rolle. So steht Boden z.B. für Nahrungsmittelanbau, Rohstoffabbau, Wohn-, Verkehrs- und Gewerbezwecke zur Verfügung. Auch Wasser und Sauerstoff können als Rohstoffe dienen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die meisten ökonomischen Ansätze Emissionen berücksichtigen, da diese Emissionen empirisch viel besser auf die ökonomische Aktivität zurückzuführen sind als die Immissionen, die durch Transformations- und Diffusionsprozesse geformt wurden. Außerdem können die Immissionen, auch Schadstoffe genannt, in den meisten Fällen nicht auf die Verursacher zurückgeführt werden. Da es allerdings in der Realität auf die Immissionen ankommt, werden oftmals in den Modellen eine lineare Beziehung zwischen Emissionen und Immissionen unterstellt, was wiederum den Realitäten nicht entsprechen muß. Die Festlegung vieler Höchstwerte für Emissionsarten ist deshalb eine politische Entscheidung, das Ergebnis eines Erfahrungs- und Suchprozesses, da die nötige Informationen nur unzureichend vorhanden sind.

1. Vgl. Opitz, Peter J., a.a.O., S. 17 ff.

C. Umwelt im Hinblick auf die funktionale Beziehung zur wirtschaftlichen Aktivität und das Aggregationsproblem¹⁾

Wie bereits erwähnt, ist eine umfassende Berücksichtigung der Umwelt in der dynamischen Wohlfahrtstheorie sowie im Sozialprodukt mit sehr großen Bewertungs- und Informationsproblemen verbunden. Aufgrund der erwähnten Probleme kann eine Aggregation der Rohstoffe wie der Emissionen nur wenig objektive Werte liefern, da die mengenmäßige sowie auch die wertmäßige Aggregation an Informationsgrenzen stößt. Die Aggregation der Umweltfaktoren und die Integrierung der Umweltfaktoren in den Sozialeinkommensbegriff würde m.E. diesen Begriff so stark mit subjektiven Werten anreichern, daß die objektive Aussagefähigkeit des Begriffes stark beeinträchtigt würde.

Die Umweltfaktoren sollen deshalb hier dissaggregiert gelassen werden. Der wirtschaftlichen Aktivität werden Grenzwerte der Umweltfaktoren als Rahmenbedingungen vorgegeben. Diese Grenzwerte, welche Höchstwerte für bestimmte Emissions- und Rohstoffe (Rohstoffverbrauch) sein können, sind oftmals das Ergebnis subjektiver politischer Entscheidungsprozesse. Die Aufgabe der Wirtschaftspolitik wäre es, dafür zu sorgen, daß durch die wirtschaftliche Aktivität diese Grenzwerte nicht überschritten werden. Diese Kontroll- und Steuerfunktion wäre mit Hilfe modifizierter Input- Output-Ansätze möglich. Es ist dann zu ermitteln, aus welchen Industriebereichen welche Emissionsstoffe ausgeschieden und an welche Umweltmedien sie weitergegeben werden. Analog müßte festgestellt werden, welche Industriezweige welche Rohstoffe, Energien benötigen und woher diese geholt werden.²⁾

1. Vgl. Bender, Dieter, Makroökonomik des Umweltschutzes, Göttingen 1976, S. 10 ff., 65 ff. und vgl. Siebert, Horst, Ökonomische Theorie der Umwelt, Tübingen 1978
2. So werden z.B. an Luftverunreinigungen Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Staub gemessen.

Diese Rohstoffe können erneuerbar oder nichtregenerierbar sein. . So kann z.B. Energie aus regenerierbaren Ressourcen wie Wasser-, Wind- und Sonnenkraft, Boden- und Biomassenwärme oder tierischen wie pflanzlichen Rohstoffen erzeugt werden. Sauerstoff kann auch als Rohstoff für Verbrennungsprozesse gelten. Rohstoffe, die nicht bzw. nur auf lange Frist erneuerbar sind, wären fossile und anorganische Rohstoffe wie Kohle, Mineralien, Metalle u.a..Ferner spielt der Informationsgrad eine Rolle, wo welche Läger sind, welche Qualitäten sie haben, auf welche Mengen sie geschätzt werden, welche Risiken bei Abbau, Nutzung und Beseitigung bestehen.¹⁾

D. Typische Ansätze für Ökonomen

Das Wiederaufleben der Umweltproblematik in der ökonomischen Literatur sollte m.E. mit Pigou 1920 angesetzt werden, der allgemein auf die Diskrepanz zwischen einzel- und volkswirtschaftlichen Kosten hinwies und zur Lösung eine Externalitätensteuer empfahl²⁾. Diese Diskrepanz, die als soziale Zusatzkosten bezeichnet werden kann, können statisch wie auch intertemporal interpretiert werden. Bei spezieller Beachtung des Faktors Rohstoffe wird auch oftmals der Aufsatz von Hotelling 1931³⁾ als der bahnbrechende Aufsatz bezeichnet, wofür Ramsey 1928⁴⁾ das theoretische Rüstzeug lieferte. Dieser Aufsatz betont den intertemporalen Aspekt der Zusatzkosten. Die Flut der Veröffentlichungen folgte allerdings in einem größeren Abstand. Der heutige Stand der Literatur weist bereits schon eine weitgehende Verästelung der Problematik auf. Es ist

1. Vgl. Pilgrim, Eberhard von, Internationale Rohstoffprobleme in der Diskussion, in: Weltprobleme, a.a.O., S. 217 ff.
2. Aufsatz erschien in deutscher Sprache bei Siebert, Horst, Umwelt und wirtschaftliche Entwicklung, 1979
3. Vgl. Hotelling, H., "The Economics of Exhaustible Resources, in: *Journal of Political Economy*, Vol. 39 (1931), S. 137 ff.
4. Vgl. Ramsey, Frank P., "A Mathematical Theory of Saving", in: *Economic Journal*, Bd. 38(1928), S. 543ff.

deshalb sinnvoll, die Literatur nach bestimmten Merkmalen zu ordnen.

1. Wirtschaftspolitische und -theoretische Ansätze¹⁾

Während bei der Rohstoffdiskussion rein theoretische Ansätze einen beachtlichen Stellenwert behaupten können, dominiert bei der Umweltgütediskussion eindeutig die Wirkungsanalyse des umweltpolitischen Instrumentariums. Ähnlich wie in den Regionalwissenschaften ist die starke Stellung wirtschaftspolitischer Ansätze daraus zu erklären, daß die Praxis die Ökonomen in Zugzwang gebracht hat. Die Folgen davon sind, daß Wirkungen von Ge- und Verboten, Steuern, Gebühren, Auflagen, Zertifikaten und Verhandlungsstrategien schon ausgiebig analysiert wurden, teilweise schon abgeschlossen sind, während theoretische Fragestellungen nach den Auswirkungen der Umweltverschmutzung auf die wirtschaftlichen Abläufe, Bevölkerung, Natur aber nur oberflächlich behandelt wurden. Dies hatte dazu geführt, daß man sich ausgiebig mit den Kosten des Umweltschutzes beschäftigt, ohne den Nutzen dagegen zu stellen, was in der Öffentlichkeit zu der häufigen Ansicht führte, daß Umweltschutz nur mit Kosten verbunden ist. Bei der Rohstoffdiskussion interessierte man sich schon frühzeitig für die Auswirkungen von Verknappungen auf das Sozialprodukt, Instrumente wurden weniger behandelt. Wird der Faktor Bevölkerung in den Mittelpunkt der Analyse gestellt, so dominieren auch die politischen Ansätze, theoretische Ansätze gibt es wenige²⁾. Bei den politischen Ansätzen versucht man in Europa die Kinderfreudigkeit der Bevölkerung zu fördern, während man in der Dritten Welt nach Strategien sucht, um diese senken zu können. Die Endogenisierung der Bevölkerung in makroökonomischen Modellen ist immer noch eine defizile Angelegenheit, obwohl es interessante Ansätze gibt.

1. Vgl. stellvertretend für eine große Anzahl an Literatur: Siebert, Horst, Analyse der Instrumente der Umweltpolitik, Göttingen 1976

2. Vgl. Schuler, Richard E., "The Long Run Limits to Growth: Renewable Resources, Endogenous Population and Technical Change", in: *Journal of Economic Theory* Vol. 21, No. 1 (Aug. 79)

Auf die Behandlung solcher Ansätze soll hier verzichtet werden¹⁾

2. Partial- und Totalanalyse

Während sich diese Arbeit auf makroökonomische Ansätze beschränkt, soll hier allerdings nicht unerwähnt bleiben, daß die ersten Arbeiten nach dem 2. Weltkrieg, in den 60er Jahren zumeist partialanalytischer Natur waren. In der Rohstoffdiskussion taten sich hier vor allem Herfindahl, Scott, Gordon, Cummings hervor²⁾. Sie beschäftigen sich mit dem Marktgeschehen und den stattfindenden Interaktionen. Ihre Ansätze behandeln sie oft von einem konkreten Rohstoffproblem aus. In der partialanalytischen Umweltliteratur für Umweltqualität kristallisieren sich insbesondere 3 Hauptansätze heraus. Der erste Ansatz geht auf Pigou zurück und wird tax subsidy approach genannt. Es wird hierbei eine Emissionssteuer verlangt, die in Höhe der Grenzschäden auf die Verursachungsquelle gelegt wird. Das Pareto Kriterium ist damit erfüllt. Der Ansatz leidet allerdings in der Regel der Fälle unter einem nicht zu unterschätzenden Schönheitsfehler, da leider die Information über den entstandenen Schaden ohne Existenz umweltpolitischer Maßnahmen fehlt. Baumol und Oates³⁾ stellten deshalb einen darauf aufbauenden Ansatz vor, der zwar nicht die optimale Allokation erfüllt, allerdings die Kosten minimiert und ein arbeitsfähiger Ansatz ist. Dieser Pricing and Standard Approach geht von gegebenen Umweltqualitätsstandards aus und versucht, mit Hilfe einer Emissionssteuer diese Standards zu verschieben. Baumol machte sich auch Gedanken über die Dynamisierung einer umweltpolitischen Maßnahme und schlug Umweltzertifikate vor. Der 3. Ansatz, der seine Wurzeln in der Chicagoer Schule hat, ist ein Verhandlungsansatz von Windisch, der theoretisch zwar

1. Vgl. Josef Schmid, a.a.O., S. 60 f.

2. Vgl. Gordon, R.L., "A Reinterpretation of the Pure Theory of Exhaustion, in: *Journal of Political Economy*, Bd. 75, S. 274 ff.. Die anderen Arbeiten siehe Literaturverzeichnis (waren nicht verfügbar)

3. Vgl. Baumol, W.J. und Oates, W.E., "The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment", in: *The Swedish Journal of Economics*, Bd. 73, S. 42-54

die Schwierigkeiten der ersten beiden Ansätze umgeht, dessen Anwendbarkeit in der Praxis jedoch auf Einzelfälle beschränkt bleibt. Bei Verhandlung innerhalb von Staaten, staatlicher Körperschaften kann dieser Ansatz von Bedeutung sein¹⁾.

3. Zeit

Betrachtet man den Zeithorizont, der der dynamischen Analyse in der Wohlfahrtstheorie zugrunde gelegt wird, so gehen die einen von einem begrenzten, die anderen von einem unendlichen Zeithorizont aus. Innerhalb des Zeithorizonts spielt es eine Rolle, ob die Gesellschaft altruistisches Gedankengut pflegt und somit die soziale Diskontierungsrate Null ist oder ob die Gesellschaft eine Gegenwartspräferenz kennt und damit die soziale Diskontierungsrate größer Null ist. Intergenerational equity ist allerdings bei unbegrenztem Zeithorizont mathematisch nicht lösbar²⁾.

Betrachtet man nun die Zeit im Hinblick auf die Rohstoffe, so spielt es eine Rolle, ob alle Rohstofflager als bekannt vorauszusetzen sind oder ob die Entdeckung dieser Lager von der Zeit abhängig zu machen ist. Hierbei können neue Rohstofflager wie auch neue Rohstoffe entdeckt werden. Dies läßt sich allerdings theoretisch nicht gut erfassen. Die meisten Theoretiker setzten auch deshalb den Rohstoffbestand als bekannt voraus. Der Rohstoffbestand an sich hat jedoch nur sehr geringe Aussagekraft, es kommt vielmehr auf den Grad der Nutzung an, die auch eine Funktion der Zeit sein kann. Die meisten Ansätze sehen hiervon ab. Man beschäftigt sich eher mit technischem Fortschritt und der Substitution.

Auch den technischen Fortschritt muß man im Hinblick auf die Zeit betrachten. Die meisten Ansätze unterstellen einen harrodneutralen technischen Fortschritt, der als konstante exogene Rate im Laufe der Zeit anfällt.

1. Vgl. Windisch, R., "Coase-Paradigma versus Pigou-Paradigma: Über Information und Motivation als Grundfragen dezentralisierter Umweltkontrolle", in: *Zeitschrift für Nationalökonomie*, 1975, S. 345 ff.
2. Intergenerational equity erfordert einen konstanten Pro-Kopf-Konsum. Auf wohlfahrtstheoretische Ansätze wird in Kap. IV eingegangen.

Eine Minorität an Ökonomen geht davon aus, daß der technische Fortschritt nicht stetig ist und die bestehende Technologie durch eine neue Technologie, welche von bestimmten knappen Ressourcen unabhängig ist, ersetzt werden muß. Die Möglichkeit der Umstellung auf die neue Technologie wird dann in Abhängigkeit vom Wissensstand gesehen. Welcher Wissensstand notwendig ist, kann als bekannt oder unbekannt angenommen werden. Wird der notwendige Wissenstand als unbekannt angenommen, so kann mit Hilfe einer Wahrscheinlichkeitsfunktion geschätzt werden, mit welchem Wissen eine Umstellung auf die neue Technologie möglich ist.¹⁾

Ferner nehmen die Mehrzahl der Umweltökonomien die Assimilationskapazität der Umweltmedien Luft, Wasser und Boden als unabhängig vom Zeitablauf an, was in der Realität in der Regel nicht beobachtet werden kann. In den Flußsystemen hängt die Assimilationskapazität u.a. von Flußgeschwindigkeit, Sauerstoffgehalt, Temperatur und Schadstoffmenge ab.

4. Bevölkerung

Viele ökonomische Ansätze erwähnen nicht ausdrücklich den Faktor Bevölkerung, was oftmals auf die implizite Annahme einer stationären Bevölkerung schließen läßt. Sehr häufig wird auch der Entwicklungspfad der Bevölkerung bzw. der Arbeitskräfte exogen vorgegeben, wobei exponentielles Wachstum präferiert wird.²⁾ Mit der stationären sowie der exponentiellen Entwicklung der Bevölkerung kann allerdings der Entwicklungspfad vieler Völker nicht erklärt werden³⁾. Einige Ökonomen unternehmen jedoch den Versuch, den Faktor Bevölkerungswachstum zu endogenisieren⁴⁾. Schuler sieht z.B. mehr

1. Mit diesem Themengebiet beschäftigen sich u.a. Kamien&Schwartz, Davison, Dasgupta&Heal. Näher darauf wird in IV, §1, A eingegangen
2. Stellvertretend vergleiche Ingham, A. und Simmons, P., "Natural Resources and Growing Population", in: *Review of Economic Studies*, Bd. 42(1975), S. 191 ff.
3. Schmid, Josef, a.a.O., S. 39 ff.
4. Zu nennen wären Kosobund und O'Neil und Schuler, Richard E., wobei die ersten beiden nicht zugänglich waren. Vgl. Schuler, Richard E., a.a.O.

Schwierigkeiten durch das Bevölkerungswachstum als durch ausgehende Ressourcen. In seiner Arbeit hängt die Entwicklung des Arbeitskräftepotentials von der Entwicklung des Pro-Kopf-Einkommens ab, wobei mit steigendem Einkommen quantitatives Wachstum in ein qualitatives Wachstum des Arbeitspotentials übergeht. Die Eltern haben weniger Kinder, geben dafür allerdings viel mehr Geld für deren Ausbildung aus als früher.

5. Technischer Fortschritt

Die Streitfrage ob der technische Fortschritt in stetiger oder in diskreter Form vorkommt, wurde mit dem ersten Bericht des Club of Rome heftig diskutiert. Man kann der Meinung sein, daß der technische Fortschritt in jeglicher Ausprägung einmalig sei und nicht in voraussehbaren Abständen vorkomme, oder man kann sich den Standpunkt des Club of Rome zu eigen machen, der den arbeitsvermehrenden technischen Fortschritt als stetig ansah, allerdings den technischen Fortschritt in Bezug auf Umweltqualität und Rohstoffe als einmalig verstanden wissen wollte. Es ist jedoch auch möglich, alle Fortschrittsarten als stetig anzusehen.¹⁾

Es spielt nun weiter eine Rolle, ob der technische Fortschritt innerhalb des Modelles erklärt oder exogen vorgegeben wird. Hier gibt es wiederum die Fälle allgemeinen wie spezifischen Fortschritts, die beide exogen sein können, oder wie im Innovation-frontier approach²⁾ bleibt der allgemeine Fortschritt exogen, seine Verteilung auf die spezifischen Fortschrittsarten wird endogenisiert.

In früheren Modellen wurde der technische Fortschritt stets ohne speziellen Ressourcenverbrauch aufgeführt. Heutige Modelle sehen vielfach einen Einfluß der For-

1. Vgl. Meadow, D.H., "The Limits to Growth", New York 72

2. Vgl. McCain, Roger A., "Endogenous Bias in Technical Progress and Environmental Policy", in: *The American Economic Review*, Vol. 68(1978), S. 538 ff.

schungs- und Entwicklungsanstrengungen auf den technischen Fortschritt. Hierbei gehen manche Ansätze von einer deterministischen und andere von einer stochastischen Funktionalität aus¹⁾.

6. Substitutionselastizität

Unter Vernachlässigung des Zeitaspektes können Substitutionselastizitäten betrachtet werden, die mit größer, gleich oder kleiner 1 anzusetzen sind. Eine Substitutionselastizität $\sigma \neq 1$ führt dabei zu Veränderungen der partiellen Produktionselastizitäten. Während Elastizitäten $\sigma > 1$ bedeuten, daß auf bestimmte knappe Rohstoffe verzichtet werden kann, obwohl sie in der Ausgangslage eine wichtige Rolle spielen können und daß bestimmte Emissionen vermeidbar sind. Der Wachstumsverlust wäre dann nur temporär, dagegen würde schon im Grenzfall $\sigma = 1$ der Verlust nicht mehr zurückgehen. Bei $\sigma < 1$ kann auf bestimmte Rohstoffe, Emissionen im Produktionsprozeß nicht verzichtet werden, die Substitution kennt ihre Grenzen, wie auch bei Solow²⁾ dargelegt wurde. Die Endergebnisse dieser Ansätze sind damit vorgezeichnet, je nach dem ob optimistische oder pessimistische Ansichten benötigt werden. Nur sehr wenige Arbeiten geben die Annahme inflexibler Substitutionselastizitäten auf und sehen diese in Abhängigkeit zur Zeit. So ist eine geringe Elastizität auf kurze Sicht und eine hohe Elastizität auf lange Sicht durchaus nicht unrealistisch.³⁾

1. Vgl. für deterministische Funktionalität Suzuki, Hideo, "On the Possibility of Steadily Wasting and Non-Replenishable Resource", in: *Review of Economic Studies*, Vol. 43(1976), S. 527ff und für stochastische Funktionalität Dasgupta, Partha und Heal Geoffrey, "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources", in: *Review of Economic Studies, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources*, Vol. 41 (1974), S. 3 - 28
2. Vgl. Solow, Robert M., "Resources and Economic Growth" in: *The American Economist*, Vol. 22(Fall 78), S. 5-11
3. Vgl. Hogan, William and Manne, Alan, "Resources for the Future", in: *Modelling Energy Economy Interactions: Five Approaches*, hrsg. v. Charles Hitch, 1978; Buch war nicht verfügbar.

7. Rohstoff

Differenziert man die Ansätze nach dem Merkmal Rohstoff, so spielen, die Möglichkeiten, Fähigkeiten der Ausbeute eine Rolle. In den meisten Ansätzen wird eine Ausbeute ohne Hindernisse gesehen. Information über Rohstoffläger, neue Rohstoffe sind jedoch nicht zu jedem Zeitpunkt verfügbar, sie hängen vom betrachteten Zeitpunkt ab, analog die Nutzungstechniken, die Intensität der Nutzung.

Aber nicht nur das Informationsproblem und die Zeit spielen bei der Nutzung eine Rolle; die Dimension Raum ist von gleicher Wichtigkeit. Ein bedeutender Aspekt wäre hier die Raumüberwindung. Sind Lager bekannt und von hoher Produktivität, dann nützen sie heute sehr wenig, wenn sie sich auf anderen Planeten oder an anderen, heute schwer zugänglichen Orten befinden¹⁾. Ferner sind klimatische Bedingungen und Beschaffenheit des Umweltmediums wichtig, da Bergungs- wie auch Transportprobleme entstehen können²⁾. Ein weiterer Aspekt wäre die Rohstoffkonzentration im Raum. Zu geringe Konzentration von Rohstoffmaterial kann die Produktivität der Lagerstätten erheblich senken. Es können auch technische Probleme vorliegen, die eine heutige Trennung des Rohstoffes von anderen Elementen noch unmöglich macht. Der Abbau vieler Lagerstätten ist somit unter heutigen Verhältnissen nicht wirtschaftlich. Müßten diese Lager wegen Rohstoffmangel trotzdem abgebaut werden, so würde die Suche nach Ersatzstoffen dadurch angeregt.

Die vorgebrachten Probleme zeigen, daß ein homogener Rohstoff in der Realität nicht beobachtet werden kann,

1. Rohstoffläger können sich z.B. tief in der Erde, im Meer oder im Kosmos befinden.
2. In manchen Teilen der Erde herrschen extrem ungünstige Bedingungen für den Menschen und für die Einsatzfähigkeit der Maschinen. Dies wäre z.B. in der Antarktis, in verschiedenen Teilen Sibiriens und in feuchtheißen Zonen der Erde der Fall. Außerdem ist es wichtig, ob der Rohstoff aus der Luft, dem Boden oder aus dem Wasser bzw. Meeresboden gewonnen werden soll. Diese Umweltmedien müssen noch genauer differenziert werden, ob Tiefseeboden oder Sumpfbiet beispielsweise. Es wird ersichtlich, daß in vielen Fällen dem Rohstoffabbau Grenzen gesetzt sind.

da sachliche, räumliche, zeitliche, qualitative sowie quantitative Unterschiede bestehen können. Nur wenige Ökonomen versuchen, diesen Problemen Rechnung zu tragen, indem sie Kosten- bzw. Produktivitätsunterschiede in ihren Arbeiten einbauen. So nehmen Solow und Suzuki in ihren Aufsätzen an, daß die Lager mit den niedrigsten Kosten, mit der höchsten Produktivität zuerst abgebaut werden¹⁾. Sie befinden sich damit im Gegensatz zu Robson, der die Hypothese vertritt, daß ungünstige Lager zuerst abgebaut werden. Er leitet dies von der Tatsache ab, daß beim Nordseeöl zuerst die off-shore-Reserven ausgebeutet werden, später die on-shore-Reserven²⁾. Von diesem Spezialfall auf die Allgemeinheit zu schließen, ist jedoch eine gewagte Angelegenheit. Weiter ist er der Meinung, wenn alle Lager ungewiß sind, daß dann die vermutlich kleinsten zuerst ausgebeutet werden. Aber diese tollkühne Behauptung wird von ihm weitgehend wieder zurückgenommen durch seine Aussage; *"This social motiv is not necessarily reflected in market behaviour"*³⁾.

Ein weiteres Kriterium ist die Regenerierbarkeit von Rohstoffen. Viele Ansätze beschränken sich auf die Folgen von nichtregenerierbaren Rohstoffen. Von Meadow wird vertreten, daß nur tierische und pflanzliche Rohstoffe als regenerierbar einzustufen seien, alle anderen werden als nicht wieder herstellbar betrachtet. Andere Ökonomen lassen außer den genannten Rohstoffen auch noch Energien wie Wind-, Wasser-, Sonnenkraft und Erdwärme u.ä. als regenerierbare Ressourcen zu. Eine beliebte Themenstellung ist dabei, die Substitution knapper nichtregenerierbarer durch regenerierbare Rohstoffe zu untersuchen, wobei diese zumeist als nicht knapp angesehen wurden. Hierunter wären u.a. Dasgupta

1. Vgl. Solow, Robert M., "Extraction Costs in the Theory of Exhaustible Resources", in: *Bell Journal of Economics*, Autumn 1976, S. 359 - 370 und vgl. Suzuki, Hideo, a.a.O., S. 527 f.
2. Robson, Arthur J., "Sequential Exploitations of Uncertain Deposits of a Depletable Natural Resources, in: *Journal of Economic Theory*, Vol. 21(1979), S. 88f
3. Robson, Arthur J., a.a.O., S. 88

Heal, Smith und Crémer¹⁾ zu nennen. Hartwick dagegen geht nur von der Substitution innerhalb erschöpfbarer knapper Ressourcen aus²⁾. Ansätze, die sich mit knappen aber regenerierbaren Rohstoffen auseinandersetzen, kommen oftmals zu ähnlichen Ergebnissen wie Wachstumsmodelle, die den Faktor Boden berücksichtigen. Ein weiterer Punkt, der beachtet werden sollte, sind die Marktformen der Rohstoffmärkte. Viele gehen dabei von einer konstanten Marktform aus, der vollkommenen Konkurrenz oder dem Monopol wie beispielsweise Sweeney, Weinstein & Zeckhauser, Dasgupta & Heal und Stiglitz³⁾. Die Marktform könnte jedoch auch in Abhängigkeit der gegenwärtigen Umstände wie Nachfrage- und Angebotssituation auf den Rohstoffmärkten gesehen werden.

1. Vgl. Dasgupta & Heal, a.a.O., S. 3 - 28; Smith, V., "An optimistic Theory of Exhaustible Resources", in: *Journal of Economic Theory*, Vol. 9(1974), S. 384 - 396; Crémer, Jacques, "On Hotellings Formula and the Use of Permanent Equipment in the Extraction of Natural Resources", in: *International Economic Review*, June 1979, S. 319 ff.
2. Vgl. Hartwick, John M., "Substitution Among Exhaustible Resources and Intergenerational Equity", in: *Review of Economic Studies*, Bd. 45(1978), S. 347ff.
3. Vgl. Sweeney, James L., "Economics of Depletable Resources: Market Forces and Intertemporal Bias", in: *Review of Economic Studies*, Vol. 44(1977), S. 125 - 141; Weinstein, Milton C. und Zeckhauser, Richard J., "The Optimal Consumption of Depletable Natural Resources", in: *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 89(1975), S. 371 - 392; Dasgupta und Heal, a.a.O. S. 3 - 28; Stiglitz, Joseph, "Growth with Exhaustible Natural Resources: The Competitive Economy", in: *Review of Economic Studies*, *Symposium on the Economics of Exhaustible Resources*, 1974, S. 138 - 152; Ebenda, "Monopoly and the Rate of Extraction of Exhaustible Resources", in: *American Economic Review*, Vol. 66(1976), S. 655 - 661

8. Umweltqualität

Versucht man die Werte von Naturschutzgebieten, Naturparks etc. zu erfassen, so wären die Arbeiten von Fischer & Krutilla & Chichetti¹⁾ zu nennen. Krutilla versucht den Schaden zu erfassen, der durch den Rohstoffabbau im Grand Canyon entsteht.

Die meisten Arbeiten, die sich im Bereich Ökonomie und Umwelt mit Umweltqualität beschäftigen, gehen allerdings vom Umweltschutz aus. Hier sollte zuerst die Arbeiten von Kneese²⁾ erwähnt werden, der die Analyse um Emissionen und Immissionen erweiterte und damit auf die Problematik der Zurückverfolgung der Umweltschäden auf den Verursacher hinwies. Der Schaden der gleichen Emission kann recht unterschiedlich sein, je nachdem, welche anderen Emissionsarten an das gleiche Umweltmedium abgegeben werden. Die Immission, der Schadstoff im Umweltmedium nach den erfolgten Transformations- und Diffusionsprozessen, kann damit oft schlecht zurückverfolgt werden. Für die Immissionen spielt allerdings die räumliche wie zeitliche Verteilung eine Rolle. Fast alle ökonomischen Ansätze überlassen dieses Gebiet anderen Disziplinen und ziehen nur die Emissionen in ihre Analyse ein. Die Verursachungsquelle für Emissionen kann beim Rohstoff, beim Produktionsverfahren, beim Ver- oder Gebrauch des Endproduktes liegen. Je nach der Verursachungsquelle der Emissionen kann unter gewissen Umständen der Rohstoffverbrauch sowie die Umweltverschmutzung reduziert werden, wenn eine Extraktionssteuer eingeführt wird³⁾. Ferner zu erwähnen wären Ansätze, bei denen die Umweltqualität einen Produktionsfaktor darstellt.

-
1. Vgl. Fisher, A.C., Krutilla, I.V. und Chichetti, Ch. J., "The Economics of Environmental Preservation: A Theoretical and Empirical Analysis", in: *American Review*, Bd. 62(1972), S. 605 - 619
 2. Vgl. Kneese, A.V., "The Economics of Regional Water Quality Management", Baltimore 1964; Ebenda, "Background for the Economic Analysis of Environmental Pollution", in: *Swedish Journal of Economics*, Bd. 73(1971), S. 1 - 24
 3. Vgl. Siebert, Horst, *Ökonomische Theorie der Umwelt*, Tübingen 1978

Forster z.B. ist der Ansicht, daß sich die wirtschaftliche Aktivität durch zu starke Verschmutzung von alleine vermindere¹⁾. Die meisten Ansätze jedoch betrachteten die Wirkungen von Umweltinvestitionen, Emissionssteuern auf das Volkseinkommen²⁾.

9. Theoretischer Rahmen

In jüngster Zeit wird den dynamischen wohlfahrtstheoretischen Ansätzen der Vorzug gegeben. *"Eine Warnung scheint angebracht. Die Überlegungen über ein Idealmaß der gesellschaftlichen Wohlfahrt sind nicht zu Ende gedacht. Es ist überdies zu bezweifeln, ob ein solches Idealmaß auch nur annäherungsweise zu realisieren ist. Denn dieses Idealmaß unterstellt, daß die Knappheit von Ressourcen oder Emissionen etwa aus dynamischen Allokationsmodellen feststellbar sei"*³⁾

Außerdem ist noch anzumerken, daß bei den Rohstoffen Zeiträume angesprochen werden, in der die Konstanz von Rohstoffen fraglich und die Richtung der technischen Entwicklung unabsehbar wird.

Ferner wären neomalthusianische Ansätze wie die des Club of Rome und Input-Output-Ansätze zu erwähnen. In der Regel wird in diesen Arbeiten von konstanten Schadstoff- und Rohstoffkoeffizienten ausgegangen⁴⁾.

10. Resümee

Wie zu ersehen ist, haben sich in letzter Zeit sehr viele Ökonomen mit dem Themenkreis Ökonomie und Umwelt beschäftigt und dieses Gebiet mit verschiedenen Schwerpunkten analysiert. Um diese Schwerpunkte besser darstellen zu können, wurden oftmals modellvereinfachende

-
1. Vgl. Forster, B.A., "A Note on Economic Growth and Environmental Quality", in: *The Swedish Journal of Economics*, Vol. 74(1972), S. 281 - 285
 2. Vgl. Bender, Dieter, a.a.O. und Pethig, R., Umwelt-ökonomische Allokation mit Emissionssteuer, 1979
 3. Siebert, Horst, a.a.O., S. 87
 4. Vgl. Isard, W., u.a., *Ecologic Economic Analysis for Regional Development*, New York 1972

Annahmen wie exogene technische Fortschrittsarten, Homogenität des Rohstoffbestandes und der Umweltqualität angenommen. Diese Annahmen relativieren die Ergebnisse dieser Arbeiten, da in der Realität im allgemeinen diese Tatbestände nicht beobachtet werden können. Ferner werden auch i.d.R. die Bevölkerung und die Substitutionselastizität zwischen Umweltgüter, Rohstoffen und Kapital nicht in einem ökonomischen Modell erklärt, sondern exogen angegeben.¹⁾

F. Umweltproblematik aus der Sicht verschiedener Disziplinen

Wie die Ökonomie, so benutzen auch andere Disziplinen mit Vorliebe die ceteris paribus Klausel in den Grenzbereichen, in welchen das Wissen anderer Disziplinen eine Rolle spielt. So analysieren Biologen, Geologen, Chemiker, Mediziner etc. die Wirkungen verschiedener Emissionsstoffe auf das Leben und stellen die Determinanten für Assimilationskapazitäten der einzelnen Umweltmedien mit ihren räumlichen und zeitlichen Dimensionen auf. Diese exakten systematischen Analysen steht dann oftmals ein mangelnder 'ökonomischer Background' gegenüber. Man schreibt heutige ökonomische Verhältnisse oftmals in die Zukunft fort, ohne den Regelmechanismus einer Wirtschaft genügend zu berücksichtigen. Demgegenüber sind ökonomische Ansätze oftmals in Bezug auf den Faktor Umwelt als unzureichend anzusehen, da i.d.R. eine konstante Assimilationskapazität der Umwelt angenommen wird. Analog beim Faktor Rohstoffe, die auch als homogen und konstant betrachtet werden. Der dadurch verminderten Aussagekraft eines ökonomischen Modelles steht andererseits weniger Komplexität gegenüber.

1. Auf die Substitutionselastizität zwischen den Produktionsfaktoren wird in den Kapiteln III und V eingegangen.

II. Pessimistische Wachstumstheorien

Es werden in diesem Kapitel Ansätze vorgestellt, die pessimistische Extrempositionen in Bezug auf die Entwicklung der wirtschaftlichen Aktivität wiedergeben. Diese Ansätze sollen im Hinblick auf die Fragen untersucht werden, ob Regelkreismechanismen existieren, welche eine chaotische Entwicklung der ökonomischen Aktivität aufgrund der Umweltbedingungen verhindern und ob in Zukunft noch ein Wachstum der ökonomischen Aktivität möglich ist.

§ 1 Berichte an den Club of Rome

A. Bericht unter Leitung von Meadow: Grenzen des Wachstums

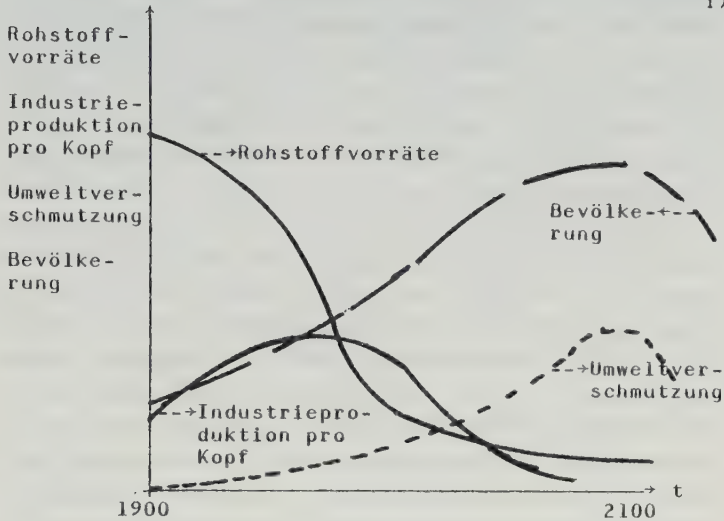
Schon lange nicht mehr war ein Buch so in die Schlagzeilen der Welt geraten wie dieser Bericht. Die Kernaussage dieses interdisziplinären Weltmodells kann durch folgendes Zitat treffend wiedergegeben werden:

"Wenn die gegenwärtige Zunahme der Weltbevölkerung, der Industrialisierung, der Umweltverschmutzung, der Nahrungsmittelproduktion und der Ausbeutung von natürlichen Rohstoffen anhält, werden die absoluten Wachstumsgrenzen auf der Erde im Laufe der nächsten Hundert Jahre erreicht. Mit großer Wahrscheinlichkeit führt dies zu einem ziemlich raschen und nicht aufhaltbaren Absinken der Bevölkerungszahl und der industriellen Kapazität"¹⁾.

Ziel der Wirtschaftspolitik müßte es dann sein, einen totalen Wachstumsstopp zu erreichen oder sogar die wirtschaftliche Aktivität zu vermindern. In Abb. II werden diese Aussagen aufgezeigt. Die Endlichkeit der erschöpfbaren Rohstoffe und die wirtschaftliche Expansion führe dazu, daß auf der Suche nach Lagerstätten immer höhere Kapitalsummen geopfert werden müssen. Die Summen dafür würden schließlich solche Maße annehmen, daß die Pro-Kopf-Produktion zuerst in ihrer Zuwachs-

1. Meadow, D.H., a.a.O., S. 16

Abb. II: Auszug aus dem Standard-
ansatzes des MIT-Modells¹⁾



rate und dann absolut verlangsamt wird. Da dieser Prozeß nach unten unter gegebenen Bedingungen nicht aufhören könne, wäre ab einem bestimmten Zeitpunkt die Nahrungsmittelproduktion und Rohstoffgewinnung in einer bestimmten Höhe nicht mehr zu gewährleisten. Mit dem Rückgang der Nahrungsmittelproduktion und der medizinischen Fürsorge würden chaotische Zustände ihren Lauf nehmen. Die Natur stabilisiert das irdische Leben auf ihre Weise, indem sie trotz steigender Geburtenraten so viele Menschen sterben läßt, daß sich das Leben, die wirtschaftliche Aktivität erst auf einem sehr geringen Niveau wieder stabilisieren kann. Meadow läßt zwar für bestimmte Größen verschiedene Werte zu, allerdings kann der Zusammenbruch der heutigen Zivilisation dadurch nur aufgeschoben, nicht aufgehoben werden. Dieses populärwissenschaftliche Buch

1. Vgl. Meadow, D.H., a.a.O., S. 122 ff.

erregte derart die Gemüter, daß in den ersten Jahren nach dem Erscheinen eine sachliche Diskussion überhaupt nicht mehr möglich schien. Mittlerweile haben sich die Wogen geglättet, und man kann versuchen, die Kritikpunkte zu ordnen. Hauptmängel liegen in der fehlenden Substituierbarkeit der volkswirtschaftlichen Produktionsfaktoren und in der Konstruktion der technischen Entwicklung.

*"The rate and type of technological development is rigged to guarantee a prediction of economic collapse given the assumption of specific fixed resources, fixed birth rates and environmentally induced death"*¹⁾

Die Substitution zwischen Gütern des Konsums als auch der Produktion wurde nicht beachtet, da Preise im Modell fehlen. Der technische Fortschritt wurde als exponentiell errechnet und in die Zukunft fortgeschrieben. Dagegen wurde technischer Fortschritt in den Bereichen Umweltfreundlichkeit, Ressourcenförderung, -verarbeitung und -suche als einmalig angenommen. Das Modell hat durch diese Mängel einen mechanistischen Charakter. Neben Substitution und technischem Fortschritt ist als dritter Problempunkt die unsichere Information, Datenbasis anzusehen, wie z.B. bei Bevölkerungsentwicklung, Rohstoffbasis etc.. Der vierte Problembereich kennzeichnet sich durch räumliche, zeitliche, ökonomische und politische Dimensionen der Knappheiten. Es kann davon ausgegangen werden, daß *"it is unlikely our society will never entirely use up our essential resource"*, da *"very few essential resources are actually found in concentrated pockets"*.²⁾ Außerdem kann es als wahrscheinlich gelten, daß *"die Rohstoffquellen nicht am gleichen Tage überall versiegen, und daß zweitens, Unternehmen nicht so naiv sind, bekannterweise knappe Rohstoffe bis zum letzten*

1. Schuler, Richard E., a.a.O., S. 166

2. Ebenda, S. 182

*Tag billig anzubieten. Mit zunehmender Verknappung steigen die Preise allmählich; dies bewirkt Substitutionsprozesse und rationelle Nutzung und zugleich weitet sich das Angebot wieder aus."*¹⁾

Auch bei der Umweltgüte kann in Bezug auf die politische Dimension gesagt werden, daß *"the higher pollution levels becomes, the more public consciousness there is of the problem and the more efforts will be made to reduce pollution"*²⁾

Die Kritik an diesem Modell ließe sich noch weiter detaillieren, allerdings ist diese Kritik nicht immer sinnvoll, da es sich um ein Weltmodell handelt und wegen der Durchschaubarkeit einige Vereinfachungen vorgenommen werden müssen.

Positiv zu werten an diesem wachstumskritischen Ansatz wäre das Aufstellen dieses interdisziplinären Modells, die weltweite Erfassung der Umwelt und die durch diesen Bericht bewirkte Signalfunktion für Umgedenkungsprozesse in den Gesellschaften.

Zusammenfassend kann also konstatiert werden, daß die wirtschaftliche Aktivität ohne eine rigorose staatliche Nullwachstums- und Kontingentierungspolitik sich selbst und die Gesellschaft in eine chaotische Entwicklung steuert. Die Wirtschaft verfügt über keine Regelmechanismen, die dies verhindern können. Genauso kann diese Krise durch eine staatliche Rahmenpolitik nicht behoben werden. Damit ist gleichgewichtiges Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität auf Dauer nicht mehr möglich. Die zuvor geäußerten kritischen Bemerkungen zu diesem Modellansatz entkräften die Kernaussagen des ersten Berichtes an den Club of Rome.

-
1. Bombach, G., Diskussion in: *Bild der Wissenschaft*, Heft Nr. 1, Jan. 1973, S. 10
 2. Boylan, E.S., *The System Dynamics Approach to Modelling World-wide Interactions: A Critical Analysis*; Paper while a Consultat to the Hudson Institute, New York 1972

B. Bericht unter Leitung von Mesarovic:

Die Menschheit am Wendepunkt¹⁾

Dieser Bericht kann nicht als Abkehr vom 1. Bericht an den Club of Rome gelten, wohl aber wurden die dort geäußerten Aussagen gemildert.

Wichtigste Erneuerung ist die Alimentierung des Wachstums in den Entwicklungsländern und das Verneinen des Wachstums in den Industrieländern durch die Konstruktion des organischen Wachstums. Organisches Wachstum ist zu verstehen als Analogie zum Wachstum der Lebewesen. So hat der Baum am Anfang Phasen, in denen er stark wächst und im Laufe der Zeit geht dieses Wachstum gegen Null. Dementsprechend stünden die Entwicklungsländer am Anfang und hätten noch eine ausgeprägte Wachstumsphase vor sich, während die Industrieländer so gut wie überhaupt nicht mehr wachsen sollten. Der Wachstumsprozeß soll sich hier abflachen. Auf die hohe Verflechtung auf dem Erdball wird hingewiesen, andererseits die Abhängigkeiten nationaler Wachstumsraten voneinander ignoriert. Eine weitere Modifikation liegt in der politischen Dimension, man sieht ein Einlenken des Menschen als möglich an. Die anderen Kritikpunkte werden nicht beseitigt.

C. Bericht von Tinbergen: Wir haben nur eine Zukunft

Tinbergen nimmt die totale Wende vor. So werden *"die in den letzten Jahren über eine Erschöpfung der natürlichen Ressourcen geäußerte Befürchtungen zumindest in einigen Fällen übertrieben sein. Für einige Rohstoffe stellen z.B. die Ozeane eine potentielle Bezugsquelle enormen Ausmaßes dar. Es besteht Grund zu der Annahme, daß neuere Technologien entwickelt werden können, die helfen werden, die Ausbeutungs-, Abbau-, Substitutions- und Umweltprobleme zu lösen"*²⁾

1. Vgl. Mesarovic, Mihailo und Pestel, Eduard, 2 Bericht an den Club of Rome zur Weltlage, Stuttgart 74
2. Tinbergen, Jan, Riobericht, 1975, S. 48

Genauso wurde die Annahme zurückgenommen, daß die Bevölkerung für alle Zeiten exponentiell wachsen werde. Die apokalyptischen Visionen sind im Gros der Fälle zurückgenommen worden. Kritisch zu bemerken wäre, daß Tinbergen für eine Weltwirtschaftsordnung eintritt, die den idealen Menschen voraussetzt und nicht den 'alten Adam'.

§ 2 Formulierung eines neomalthusianischen Ansatzes¹⁾

Die ökonomischen Kernaussagen des Weltmodells von Meadow, die den kausalen Zusammenhang zwischen Umweltqualität, Rohstoffe und Volkseinkommen betreffen, können in einfachen ökonomischen Ansätzen wiedergegeben werden. Um diese neomalthusianischen Ansätze mit den anderen ökonomischen Ansätzen vergleichbar zu machen, wird davon ausgegangen, daß die Wachstumsrate des Sozialprodukts w_Y der Wachstumsrate des Kapitals und die der Zuwachsrates der Arbeitskräfte n zuzüglich des technischen Fortschritts F entsprechen soll,

$$w_K = w_Y = n + F. \quad (1)$$

A. Ansatz mit Umweltqualität

Unter Beachtung der Gleichung (1) wächst das Volkseinkommen mit der Rate $n + F$, was man bei einer stetigen Betrachtungsweise wie folgt ausdrücken kann:

$$Y(t) = Y(0)e^{(n+F)t}. \quad (2)$$

Da im Weltmodell keine stetigen Verbesserungen in Bezug auf die Umweltfreundlichkeit der Technologie als wahrscheinlich angenommen werden, wird mit der Annahme gearbeitet, daß sich Volkseinkommen $Y(t)$ und Emissionen proportional entwickeln, der Schadstoffkoeffizient der Volkswirtschaft b sei damit konstant. Geht

1. Dieser Ansatz wurde u.a. von Bender, Dieter, a.a.O., S. 200 ff. verwandt. Er betrachtete allerdings nur den Ansatz mit der Umweltqualität, benutzte eine Wohlfahrtsfunktion und ging von den nicht assimilierten Emissionen P aus.

man ferner von einer konstanten homogenen Assimilationskapazität (Regenerierungsfähigkeit) der Umweltqualität A aus, so verschlechtert sich die Umweltqualität $Q(t)$, wenn die Assimilationskapazität A nicht mehr fähig ist, die Emissionen ohne nennenswerte Umweltschäden zu verarbeiten,

$$DQ = A - bY(0)e^{(n+F)t}, \quad 1) \quad (3)$$

Nimmt man nun an, daß ein bestimmtes Umweltqualitätsniveau $Q_{\min}$ eine objektive (positiv begründet) und bzw. oder subjektive (normativ begründet) Wachstumsgrenze darstellt, m.a.W., eine Unterschreitung dieses Umweltgüterniveaus $Q_{\min}$ hätte unvermeidliche Rückwirkungen auf Bevölkerungs- und Kapitalwachstum wie es den apokalyptischen Visionen des Weltmodells entspricht, so kann das Sozialprodukt $Y(t)$ dem in Gleichung (2) aufgezeigten Entwicklungspfad nur so lange folgen bis $Q_{\min}$ erreicht ist,

$$Y(t) = Y(0)e^{(n+F)t} \quad \text{gilt nur für } Q(t) \geq Q_{\min}. \quad (4)$$

Da sich unter diesen Bedingungen die Umweltqualität bei Wirtschaftswachstum ständig verschlechtert, ist gleichgewichtiges Wachstum nur temporär möglich. Wenn das Überschreiten der Wachstumsgrenzen vermieden werden soll, müßte dann die wirtschaftliche Aktivität auf einem bestimmten Niveau gehalten werden, welches es den Umweltmedien ermöglicht, die Emissionen zu assimilieren.

1. D bedeutet Ableitung nach der Zeit.

B. Ansatz mit Rohstoffbestand

Für diesen Ansatz kann analog zum letzten Ansatz verfahren werden. Es gibt ein bestimmtes Potential an Rohstoffen, die als regenerierungsfähig gelten. Nimmt man nun an, daß Rohstoffbestand sowie Rohstoffkoeffizient über die Zeit konstant seien, so vermindert sich der Rohstoffbestand $R(t)$ durch die wirtschaftliche Aktivität ständig, wenn mehr Rohstoffe verbraucht werden als die Natur wieder herstellen kann. Da der Rohstoffkoeffizient x konstant ist, gilt Gleichung (2) nur so lange wie der gewünschte Mindestbestand an Rohstoffen, welcher existenznotwendig ist, nicht unterschritten wird. Es müßte somit eine Politik betrieben werden, die Wachstum des Sozialprodukts verhindert und die Umstellung der Wirtschaft auf regenerierbare Rohstoffe und Recycling fördert.

C. Resümee¹⁾

Die Verfechter des neomalthusianischen Gedankenguts, die vor allem in außerökonomischen Disziplinen vertreten sind, sehen es als unwahrscheinlich an, daß die volkswirtschaftliche Produktion ihre Überbeanspruchung der Umweltfaktoren stetig abbauen kann. Da Schadstoff- wie Rohstoffkoeffizient als weitgehend konstant angenommen werden, vermuten sie folglich die Hauptursache der Umweltmisere im Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität. Sie sprechen sich deshalb sehr oft für Nullwachstums- und Kontingentierungspolitik aus. Innerhalb der ökonomischen Theorie nehmen sie dadurch eine extrem pessimistische Position ein. Die Hauptrichtung der ökonomischen Literatur kommt allerdings zu anderen Ergebnissen, da sie - wie noch in Kapitel III zu sehen sein wird - die Möglichkeit der stetigen Veränderung der Umweltkoeffizienten wie des Rohstoff- oder des Schadstoffkoeffizienten offen läßt oder die Umweltbedingungen durch Investitionen verbessert werden können.

1. Die Kritik an diesen Ansätzen wurde hier vernachlässigt, da sie bereits beim ersten Bericht an den Club of Rome geäußert wurde.

III. Optimistische Wachstumstheorien

Die optimistischen Wachstumstheorien, die als modifizierte postkeynesianische und neoklassische Ansätze bezeichnet werden können, konzentrieren sich im Gegensatz zu den neomalthusianischen Ansätzen auf die Nahtstellen zwischen Umweltfaktoren und wirtschaftlicher Aktivität, welche die Abhängigkeiten zwischen Volkswirtschaft und Umweltfaktoren aufzeigen. Diese sogenannten Nahtstellen sind z.B. die Schadstoff- und Rohstoffkoeffizienten.

§ 1 Hypothesen, Definitionen und Annahmen

A. Umweltdefinition

Die Umwelt sei hier als das Medium definiert, aus welchem die wirtschaftliche Aktivität sich die für sie notwendigen Arbeitskräfte, Rohstoffe, Kapitaldienste herauszieht und an welches die Outputströme der wirtschaftlichen Aktivität wie Emissionen, Konsum- und Investitionsgüter zurückfließen.

B. Feed-back-Effekte

1. Die Interaktionen innerhalb und zwischen den Umweltfaktoren, welche durch die zuvor erwähnten Input- und Outputströme verursacht wurden, werden vernachlässigt. Die Fehlerquelle, die dadurch entstehen könnte, soll dadurch verhindert werden, indem für Rohstoffbestand und Umweltqualität bestimmte Niveauuntergrenzen gelten, die nicht unterschritten werden sollen.

2. Ferner wird auch nicht untersucht, welche Wirkungen die wirtschaftliche Aktivität auf die Bevölkerung hat.

C. Aggregationsproblem

Die Zusammenfassung der einzelnen Rohstoffe bzw. der einzelnen Schadstoffe in einer makroökonomischen Gesamtgröße ist bis heute noch nicht gelöst und m.E. auch nicht wünschenswert, da die einzelnen Schadstoffe

sich über Zeit- und Lebensräume in den verschiedenen Lebensbereichen auswirken und dadurch vielschichtige und teilweise heute noch unlösbare Bewertungsprobleme entstehen. Es wird deshalb in diesem Kapitel stets von einem Rohstoff und einem Schadstoff ausgegangen. In Kapitel IV wird dann auch untersucht, welche Auswirkungen mehrere Schadstoffe bzw. Rohstoffe haben.

D. Kausalbeziehungen

1. Es wird mit der Hypothese gearbeitet, daß zwischen Emissionen und wirtschaftlicher Aktivität ein kausaler Zusammenhang besteht.
2. Analog wird ein kausaler Zusammenhang zwischen Ressourcenverbrauch und wirtschaftlicher Aktivität unterstellt.
3. Zwischen Bevölkerung und Umweltverschmutzung wird eine gegebenenfalls vorhandene Beziehung vernachlässigt.

E. Homogenität

Es wird davon ausgegangen, daß der Rohstoffbestand sowie die Umweltqualität homogen sind. Raum, Zeit, Quantität sowie Qualität dieser Umweltfaktoren spielen annahmegemäß keine Rolle. Diese Annahme wird allerdings später gelockert.

F. Emissionen und Immissionen

Diese beiden Begriffe werden synonym verwandt, da eine konstante Beziehung zwischen beiden unterstellt wird. Die Problematik dieser Annahme wurde bereits in Kapitel II diskutiert.

G. Angebot und Nachfrage nach Umweltfaktoren (Emissions- und Rohstoffe)

In den nachfolgenden Ansätzen wird in der Regel von dieser Einteilung ausgegangen, um eine bessere Vergleichbarkeit mit Kap. IV zu gewährleisten.

§ 2 Postkeynesianische Ansätze

A. Einbau des Faktors Umweltqualität in die Wachstumstheorie

Allgemein ist zu sagen, daß die Diskussion über den Faktor Umweltqualität in der Wachstumstheorie weitgehend abgeschlossen ist. Aus der Flut der Veröffentlichungen soll hier versucht werden, die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeiten darzulegen. Im ersten Ansatz wird davon ausgegangen, daß harrodneutraler technischer Fortschritt F und umweltfreundlicher Fortschritt U exogen vorgegeben sind. Diese Annahmen sollen es ermöglichen, die Effekte der Umweltinvestitionen auf den Schadstoffkoeffizienten und auf das Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität zu analysieren. Im zweiten Ansatz werden die erwähnten Annahmen des ersten Ansatzes aufgehoben. Es wird allerdings auch davon ausgegangen, daß die Forschungs- und Entwicklungskapazitäten begrenzt und daß damit die maximalen Kombinationen zwischen den verschiedenen Fortschrittsarten vorgegeben sind. Welche dieser Fortschrittskombinationen allerdings angestrebt werden soll, wird endogen erklärt. Ziel dieses Ansatzes ist es, die Wirkungen einer endogenen Verteilung der technischen Fortschrittsarten auf den Schadstoffkoeffizienten und auf den Wachstumspfad des Sozialprodukts zu analysieren.

Im dritten Ansatz wird dann schließlich der technische Fortschritt vollkommen endogenisiert und in Abhängigkeit von Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen gesetzt. Das Ziel dieses Ansatzes bleibt das gleiche wie in den beiden anderen Ansätzen.

1. Ansatz bei exogenen Fortschrittsarten¹⁾

In diesem postkeynesianischen Modell wird nicht der Wachstumsprozeß erklärt, sondern vielmehr die Bedin-

1. Mit exogenen technischen Fortschrittsarten arbeiten u.a. Bender, Dieter, a.a.O., S. 202 ff. und d'Arge, R.C., "Essay on Economic Growth and Environmental Quality", in: *Swedish Journal of Economics*, Bd. 73(1971), S. 25 - 41.

gungen eines gleichgewichtigen Wachstums unter Berücksichtigung der Umweltqualität bestimmt.

Es ist anzunehmen, daß die staatliche Behörde, eine Gesellschaft, ab einer gewissen Umweltverschmutzung nicht mehr gewillt ist, ein weiteres Absinken der Umweltqualität $Q(t)$ hinzunehmen. Ist diese Situation in einem Zeitpunkt $t = 0$ erreicht, so kann folgendes angenommen werden:

$$\text{für } t \leq 0 \text{ gilt } DQ \leq 0. \quad (5)$$

Diese Begrenzung wurde in der neomalthusianischen Theorie als Wachstumsgrenze bezeichnet. Analog zu den neomalthusianischen Ansätzen, die auf den Kernaussagen des ersten Berichtes an den Club of Rom basieren, wird die Hypothese zugrundegelegt, daß die von den Wirtschaftssubjekten beabsichtigten, nachgefragten Emissionen $PN(t)$ von der Höhe des Einkommens $Y(t)$ und dem Schadstoffkoeffizienten der Wirtschaft $b(t)$ abhängig seien,

$$PN(t) = b(t)Y(t). \quad (6)$$

Stellt man nun den von den Wirtschaftssubjekten beabsichtigten Emissionen $PN(t)$, die von der Gesellschaft, der staatlichen Behörde tolerierten Emissionen $PA(t)$ ¹⁾ gegenüber, so stellt man unter Beachtung der Gleichung (5) fest, daß sich das Angebot an Emissionen $PA(t)$, m.a.W. das erlaubte Kontingent an Emissionen, auf die assimilierten Emissionseinheiten A und die abgebauten Immissionen, welche die Umweltqualität $Q(t)$ wieder ansteigen lassen würden, beschränkt. Bezeichnet man die Abbaurrate mit j und die herrschende Immission mit $P(t)$, so gilt

$$PA(t) = A + j \cdot P(t) \quad (7)$$

1. Bender unterschied nicht zwischen Angebot und Nachfrage nach Emissionen. Diese Einteilung wurde zum Zweck der besseren Vergleichbarkeit mit nachfolgenden Ansätzen gewählt.

Diese Abbaurrate , soll allerdings in diesem Ansatz vernachlässigt werden. Ist nun die beabsichtigte Verschmutzung $PN(t)$ größer als die tolerierte Verschmutzung $PA(t)$ in Periode t , so sind entweder der Staat oder die Wirtschaftssubjekte dazu gezwungen, die nicht mehr tolerierbaren Emissionseinheiten zu beseitigen, welche mit $PB(t)$ bezeichnet werden sollen.

$$PB(t) = PN(t) - PA(t) \quad (8)$$

Diese Emissionsbeseitigung $PB(t)$ erfordert Kapital K_u , dessen Höhe von den zu beseitigenden Emissionseinheiten und der Kapitalproduktivität ρ_u abhängt,

$$PB(t) = \rho_u K_u(t) = b(t)Y(t) - A. \quad (9)$$

Geht man davon aus, daß eine solche Beseitigung möglich sei, so spielt es eine Rolle, welcher Einfluß davon auf die Wachstumsrate des Konsums w_C ausgeht. Aus diesem Grund wird Gleichung (9) nach der Zeit abgeleitet:

$$D\rho_u K_u(t) + \rho_u DK_u = DbY(t) + b(t)DY - DA. \quad (10)$$

Unter der Annahme, daß weder die Produktivität des Umweltkapitals noch die Assimilationskapazität zeitlichen Veränderungen unterworfen sind, kann bei

$$DK_u \equiv I_u(t) \quad (11)$$

Gleichung (10) wie folgt verändert werden:

-
1. Bender geht von einem maximalen Verschmutzungszustand $\bar{P}$ aus. Jeglicher Verschmutzungszuwachs muß deshalb verhindert werden, $DP=b(t)Y(t)-h.K_u(t)-a\bar{P}$, wobei $h \equiv \rho_u$ und $a\bar{P} = A$. $\bar{P}$ bedeutet bei ihm das herrschende Verschmutzungsniveau und nicht wie hier den Emissionsstrom. Alle Ableitungen dieses Ansatzes wurden selbst entwickelt.

$$\begin{aligned}\rho_U I_U(t) &= DbY(t) + b(t)DY_t \\ &= (\bar{w}_b + w_Y)b(t)Y(t).\end{aligned}\quad (12)$$

Aufgelöst nach den Umweltinvestitionen ergibt sich:

$$I_U(t) = \frac{w_b + w_Y}{\rho_U} b(0)Y(0)\exp\{(w_b + w_Y)t\}.\quad (13)$$

Die Wachstumsrate des Einkommens w_Y fällt nun allerdings real mit Umweltinvestitionen I_U geringer aus als ohne I_U , bzw. der Konsum wächst schwächer als die Produktivität des Kapitals K_p multipliziert mit der gesamtwirtschaftlichen Sparquote s ,

$$s \cdot \rho_p > w_C,\quad (14)$$

da nicht alle Investitionen letzten Endes dem Konsum zugute kommen, die Kosten für die Endnachfrage größer werden. Somit ist auch die Produktivität des Gesamtkapitals K in Bezug auf die Enderzeugnisse geringer, da sich nun das Gesamtkapital K aus Produktivkapital K_p und Umweltkapital K_U zusammensetzt,

$$K(t) = K_p(t) + K_U(t).^1)\quad (15)$$

Diese Aussage ist sehr restriktiv, da Umweltschutz auch die Güte des Konsums vergrößert, was im Sozialprodukt schwer zu erfassen ist²⁾. Außerdem werden durch den Umweltschutz relativ freie Konsumgüter erhalten, die im Volkseinkommen nur geringen Niederschlag finden³⁾. Die Teilung zwischen einkommensneutralen umweltverbessernden $I_U(t)$ und umweltneutralen einkommensteigernden Produktivinvestitionen $I_p(t)$ ist somit etwas künstlich.

-
1. Die Gesamtkapitalproduktivität wird deshalb geringer, da das Gesamtkapital in Bezug auf die Enderzeugnisse weniger produktiv ist.
 2. Konsumgüter sind weniger mit Chemikalien verseucht, wodurch das Wohlbefinden der Menschen steigen kann.
 3. Diese Güter werden mit amenity und life supporting services bezeichnet, z.B. Konsum von Wasser, Luft, landschaftlicher Schönheit und Umwelt als Freizeitgut für Baden, Angeln etc.

Nach den getroffenen Annahmen wächst nun das Volkseinkommen mit der in Domar-Modellen bekannten Rate

$$w_Y = \rho_K \cdot s, \quad (16)$$

wobei

$$\rho_K \cdot s < \rho_p \cdot s. \quad 1) \quad (17)$$

Je höher die durchschnittliche Produktivität ρ_K , je höher die Sparquote s , desto stärker kann das Sozialprodukt bei vollbeschäftigtem Kapital wachsen. Der Faktor Arbeit soll noch vernachlässigt werden. Die durchschnittliche Produktivität des Kapitals $K(t)$ ist jedoch nicht exogen gegeben, sondern hängt von der Produktivität des Produktivkapitals $K_p(t)$ und den durch Umweltinvestitionen verbrauchten Sparmittel ab:

$$\begin{aligned} \rho_K \cdot s &= \rho_p \cdot \frac{I}{S} \cdot s \\ &= \rho_p \cdot \left(\frac{I(t)}{S(t)} - \frac{I_u(t)}{S(t)} \right) s. \quad (18) \end{aligned}$$

Bezeichnet man nun $\frac{I_u}{S}$ mit i_u und geht davon aus, daß Investitionen und Ersparnisse im Gleichgewicht übereinstimmen, dann ergibt sich unter Berücksichtigung von Gleichung (16) und (18)

$$w_Y = \rho_p (s - i_u). \quad (19)$$

Setzt man eine konstante gesamtwirtschaftliche Sparquote s und die Konstanz von ρ_p voraus, dann bleibt die Produktivität des Gesamtkapitals nur konstant, wenn die Umweltinvestitionsquote i_u sich im Zeitverlauf konstant verhält.

1. Bender, Dieter, a.a.O. ging vom Kapitalkoeffizienten aus, das Umweltkapital ging darin nicht ein. Bender kam zu einem ähnlichen Ergebnis wie in Gleichung (19), die Umweltinvestitionen vermindern die für die Produktivinvestitionen disponible Sparquote. Die gleiche Wachstumsrate kann dann nur erreicht werden, wenn der Kapitalkoeffizient verringert wird.

Dieser Sachverhalt soll nun mathematisch hergeleitet werden. Geht man von Gleichung (18) aus und setzt für die Umweltinvestitionen das Ergebnis der Gleichung (13) ein, dann ergibt sich bei

$$S(t) = sY(0)\exp\left\{\int_0^t w_Y(\tau)d\tau\right\} \quad (20)$$

folgender Wert für die Kapitalproduktivität:

$$\begin{aligned} \rho_K(t) &= \rho_p \left(1 - \frac{w_b + w_Y}{\rho_u} \frac{b(0)Y(0)\exp\left\{\int_0^t w_b(\tau) + w_Y(\tau)d\tau\right\}}{sY(0)\exp\left\{\int_0^t w_Y(\tau)d\tau\right\}} \right) \\ &= \rho_p \left(1 - \frac{(w_b + w_Y)b(0)}{\rho_u s} \exp\left\{\int_0^t w_b(\tau)d\tau\right\} \right). \end{aligned} \quad (21)$$

Welchem Wachstumspfad das Volkseinkommen bei Umweltinvestitionen unter der Annahme, daß ρ_p und s konstant sind, folgen kann, soll durch die nachfolgenden Grenzfälle verdeutlicht werden¹⁾.

1. Grenzfall: Der Schadstoffkoeffizient sei wie beim neomalthusianischen Ansatz konstant, d.h. die Veränderungsrate des Schadstoffkoeffizienten strebe gegen Null im Zeitablauf.

$$\lim_{w_b \rightarrow 0} w_Y(t) = s \cdot \lim \rho_K(t), \quad (22)$$

$$w_Y(t) = s \cdot \rho_p \left(1 - \frac{w_Y b(0)}{\rho_u s} \right),$$

$$w_Y(t) = s \cdot \rho_p \cdot \frac{1}{1 + \frac{\rho_p}{\rho_u} \cdot b(0)}.$$

1. Bender analysiert nicht die Auswirkungen der Umweltinvestitionen auf die Produktivität bzw. Kapitalkoeffizienten, vielmehr sucht er nach dem Kapitalkoeffizienten, der Gleichgewicht zwischen befriedigender und natürlicher Wachstumsrate des Sozialproduktes garantiert.

Die Wachstumsrate des Sozialprodukts kommt, wie zu er-
sehen ist, dem Gleichgewichtspfad, der ohne Umwelt-
investitionen existierte, dann sehr nahe, wenn die
Produktivität des Produktivkapitals in Relation zur
Produktivität des Umweltkapitals sehr klein ist. Ähn-
lich wirkt ein niedriger Schadstoffkoeffizient in
 $t = 0$.

2. Grenzfall: Der Schadstoffkoeffizient reduziert
sich stetig im Zeitablauf gemäß einer exogen vorge-
gebenen Rate U .

$$\lim_{\substack{w_b \rightarrow -U \\ U > 0}} w_Y(t) = s \cdot \lim_{t \rightarrow \infty} \rho_K(t),$$

$$w_Y(t) = s \cdot \rho_p. \quad (23)$$

Sobald eine Abnahme des Schadstoffkoeffizienten
aufgrund umweltfreundlichen technischen Fortschritts
unterstellt wird, nähert sich die Wachstumsrate des
Sozialprodukts der gleichgewichtigen Wachstumsrate
an, wenn t gegen unendlich strebt. Dies besagt aller-
dings noch nicht, daß die Umweltinvestitionen nicht
ansteigen könnten.

3. Grenzfall: Eine mißlungene Internalisierung exter-
ner Effekte kann dazuführen, daß der Schadstoffkoeff-
fizient im Zeitablauf ansteigt.

$$\lim_{\substack{w_b > 0 \\ t \rightarrow \infty}} w_Y(t) = s \cdot \lim_{t \rightarrow \infty} \rho_K(t), \quad (24)$$

$$= -w_b < 0.$$

Die Wachstumsrate nähert sich bei größer werdendem
Schadstoffkoeffizienten der negativen Rate $-w_b$ an,
da die durch Wachstum des Sozialprodukts zusätzlich
gesparten Mittel nicht mehr ausreichen, um die Investi-

tionssteigerungen im Umweltsektor zu finanzieren. Die Produktivinvestitionen müssen dann folglich vermindert werden, wenn die Umweltrestriktion eingehalten werden soll. Es ist sogar möglich, daß es zu negativen Investitionen kommen kann. Dieser dritte Grenzfall ist allerdings als unwahrscheinlich anzusehen, da ein zunehmender Schadstoffkoeffizient bei zurückgehender wirtschaftlicher Aktivität schwer erklärt werden kann.

Während im zweiten Grenzfall die Wachstumsunterschiede zum traditionellen Domar-Modell nur temporär sind, kommt es im ersten Grenzfall im modifizierten Domar-Modell zu dauerhaften Wachstumsabweichungen gegenüber dem traditionellen Ansatz. Stimmt diese modifizierte befriedigende Wachstumsrate des Sozialprodukts mit der natürlichen Rate, welche die Vollbeschäftigung der Arbeitskräfte¹ (in Effizienzeinheiten gemessen) garantiert, nicht überein, dann kann nur Wachstumsgleichgewicht herbeigeführt werden, wenn die Annahme der Konstanz von s oder ρ_p aufgehoben wird. Dies allerdings führt zu temporären Einkommens- und Konsumeinbußen, was im neoklassischen Ansatz noch näher erläutert wird.

Die Umweltinvestitionen führen somit einerseits zu Wachstumsverlusten, andererseits vermindert sich durch die Umweltinvestitionen die Beanspruchung der Umwelt im volkswirtschaftlichen Produktionsprozeß. Dieser Vorgang kann dadurch gezeigt werden, indem man den Schadstoffkoeffizienten in Abhängigkeit von dem Umweltkapital und der Zeit sieht. Bezeichnet man diesen modifizierten Schadstoffkoeffizienten mit b^* und berücksichtigt Gleichung (9), dann muß gelten

1. Vgl. Rose, Klaus, Grundlagen der Wachstumstheorie, Göttingen 1973, S. 52

$$b^*(K_u, t)Y(t) - A \stackrel{!}{=} 0. \quad (25)$$

Leitet man diese Gleichung nach der Zeit ab und setzt $DA = 0$, so erhält man

$$Db^*Y(t) + b^*(K_u, t)DY = 0, \text{ bzw.}$$

$$-Db^*Y(t) = b^*(K_u, t)DY. \quad (26)$$

Gleichung (26) bedeutet, daß die durch die Einkommenserhöhung hervorgerufenen Emissionen durch eine entsprechende Verminderung des Schadstoffkoeffizienten kompensiert werden müssen. Diese kompensierende Senkung des Schadstoffkoeffizienten wird durch Umweltinvestitionen erreicht. Unter Beachtung von Gleichung (12) muß dann gelten

$$-Db^*Y(t) = \rho_u I_u(t), \text{ bzw.}$$

$$w_{b^*} = - \frac{\rho_u}{b^*} \cdot \frac{I_u(t)}{Y(t)}. \quad (27)$$

Unterstellt man nun, daß sich die modifizierte Veränderungsrate des Schadstoffkoeffizienten aus einer exogen vorgegebenen Rate und der durch die Umweltinvestitionen induzierten Rate zusammensetzt, dann verändert sich Gleichung (27) wie folgt:

$$w_{b^*}(K_u) + w_{b^*}(t) = - \frac{\rho_u}{b^*} \cdot \frac{I_u(t)}{Y(t)}. \quad (28)$$

Unter der Annahme einer negativen exogenen Veränderungsrate ergibt sich dann

-
1. Bender analysierte nicht die Auswirkungen auf den Schadstoffkoeffizienten, sondern beließ es bei dem Umweltkapital. Der modifizierte Schadstoffkoeffizient wurde eigenständig entwickelt.

$$w_{b^*}(K_u) = - \left(\frac{\rho_u}{b^*} \cdot \frac{I_u(t)}{Y(t)} - U \right). \quad (29)$$

Wie aus Gleichung (29) zu ersehen ist, muß sich die durch die Umweltinvestitionen induzierte Abbaurrate des Schadstoffkoeffizienten mit $t \rightarrow \infty$ vergrößern, vorausgesetzt die exogene Rate U , die Umweltinvestitionsquote und die Produktivität des Umweltkapitals bleiben konstant. Dies ist deshalb so, weil b^* mit $t \rightarrow \infty$ den Grenzwert Null anstrebt.

Löst man die Gleichung (25) nach $b^*(t)$ auf und setzt den ermittelten Wert für $b^*(t)$ in Gleichung (27) ein, dann ergibt sich

$$w_{b^*} = - \frac{\rho_u}{A} \cdot I_u(t). \quad (30)$$

Da die Assimilationskapazität A sowie die Produktivität der Umweltinvestitionen als konstant betrachtet werden, folgt aus Gleichung (30)

$$Db^* = b^*(-v I_u(t)), \quad (31)$$

$$b^*(t) = b^*(0) \exp \left\{ -v \cdot \int_0^t I_u(\tau) \cdot d\tau \right\}.$$

Da bei Konstanz für w_b und w_Y für die Umweltinvestitionen Gleichung (13) gilt, soll dieser Wert in Gleichung (31) eingesetzt werden:

$$b^*(t) = b^*(0) \exp \left\{ -v \cdot I_u(0) \int_0^t e^{(w_Y - U)\tau} d\tau \right\}. \quad (32)$$

Wie aus Gleichung (32) zu ersehen ist, nimmt der Schadstoffkoeffizient $b^*(t)$ auch dann noch ab, wenn der umweltfreundliche Fortschritt der Wachstumsrate w_Y entsprechen würde.

Es kann also zusammengefaßt werden, daß die Umweltinvestitionen das Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität bei Konstanz von ρ_p und s verlangsamen und gleichzeitig die Umweltabhängigkeit der wirtschaftlichen Aktivität soweit reduzieren, daß die Umweltrestriktion eingehalten werden kann. Unterstellt wird allerdings, daß ρ_u sich konstant verhält und die Existenzbedingungen eines gleichgewichtigen Wachstums gegeben sind.

Die Anfangsbedingung ist dann gegeben, wenn die Ersparnisse mindestens für die notwendigen Umweltinvestitionen ausreichen im Zeitpunkt $t = 0$. Unter Berücksichtigung von Gleichung (9) gilt dann

$$S(0) = sY(0) \stackrel{\geq}{=} I_u(0) = \frac{b(0)Y(0) - A}{\rho_u}, \quad (33)$$

$$s \stackrel{\geq}{=} \frac{b(0)}{\rho_u} - \frac{A}{\rho_u Y(0)} = i_u, \quad (34)$$

$$s \cdot \rho_u \stackrel{\geq}{=} b(0) - \frac{A}{Y(0)} = b(0) - b^*(0) = i_u \cdot \rho_u.$$

Diese Gleichung sagt aus, daß die pro Outputeinheit zu beseitigenden Emissionseinheiten weniger sein müssen als aufgrund der Sparquote und der Produktivität der Umweltinvestitionen möglich wäre.

Von weiterem Interesse sind auch die Entwicklungspfade des Umweltkapitals und der Umweltinvestitionen, die nun abgeleitet werden sollen. Unter Berücksichtigung der Gleichungen (13) und (11) und der Annahme, daß die exogene Veränderungsrate des Schadstoffkoeffizienten konstant sein soll, $w_Y(t)$ dagegen variabel, ergibt sich

$$DK_U(t) = \frac{w_b + w_Y}{\rho_U} b(0)Y(0) \exp\left\{w_b t + \int_{\tau=0}^t w_Y(\tau) d\tau\right\}. \quad (35)$$

Die Wachstumsrate des Umweltkapitals kann nun aus Gleichung (9) und (35) ermittelt werden¹⁾:

$$\begin{aligned} \frac{DK_U(t)}{K_U(t)} &= \frac{\frac{w_b + w_Y(t)}{\rho_U} b(t)Y(t)}{\frac{b(t)Y(t)}{\rho_U} - A}, \\ w_{K_U}(t) &= \frac{w_b + w_Y(t)}{1 - \frac{A}{b(t)Y(t)}}, \quad (36) \end{aligned}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} w_{K_U} = w_b + w_Y(t).$$

Da bei $w_b > 0$ eines Tages alle Sparmittel unweigerlich für Umweltinvestitionen aufgebraucht sind, so kann dieser Pfad nicht eingehalten werden. Wenn

$$w_{K_U} - w_Y = w_b > 0, \quad (37)$$

dann verändert sich die Relation i_U mit der Geschwindigkeit w_b :

1. Der Entwicklungspfad für das Umweltkapital wurde bei Bender, Dieter, a.a.O. für $w_b=0$ und w_Y konstant untersucht.

$$i_u(t) = i_u(0)\exp(w_b t). \quad (38)$$

Der Prozeß findet dann sein Ende, wenn die Relation i_u der Sparquote entspricht, bei Aufgabe der Konstanz von s dann, wenn die Relation die maximal mögliche Sparquote erreicht hat. Theoretisch wäre dies bei $s = 1$, praktisch jedoch muß jedoch das Existenzminimum garantiert sein. Gleichgewicht herrscht also nur temporär.

Setzt man $w_b = 0$, so ist die Existenzbedingung des gleichgewichtigen Wachstums dann erfüllt, wenn

$$s > i_u = \frac{w_Y(t)b(t)}{\rho_u}. \quad (39)$$

Gleichung (39) kann aus Gleichung (13) hergeleitet werden. Diese Existenzbedingung ist umso eher erfüllt, je größer die Produktivität der Umweltinvestition und je kleiner b ist. Unterstellt man $w_b = -U$, wobei $U > 0$, so handelt es sich um eine umweltfreundliche technologische Entwicklung, welche exogen vorgegeben wird. Das bedeutet, daß der Schadstoffkoeffizient $b(t)$ im Zeitablauf abnimmt. Daraus folgt

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} i_u(t) &= \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{w_Y(t) - U}{\rho_u} b(t), \quad (40) \\ &= 0. \end{aligned}$$

Bei Betrachtung der Entwicklung von $I_u(t)$ kann festgestellt werden, daß trotz $w_b < 0$ die Investitionen ansteigen können.

$$I_u(t) = \frac{w_Y - U}{\rho_u} b(t) Y(t). \quad (41)$$

Die Wachstumsrate der Umweltinvestitionen verändert sich solange bis die Wachstumsrate des Sozialprodukts ihren Gleichgewichtswert erreicht hat:

$$\lim_{D(w_Y - U) \rightarrow \infty} w_I(t) = \lim_{D(w_Y - U) \rightarrow \infty} \frac{D(w_Y - U)bY + (w_Y - U)^2 bY}{(w_Y - U)bY},$$

$$= w_Y - U. \quad (42)$$

Wie schon in Gleichung (40) erwähnt, nimmt unter diesen Annahmen die Bedeutung der Umweltinvestitionen am Sozialprodukt ab. Dies läßt allerdings noch keine Aussage über die Pro-Kopf-Belastung zu. Aus diesem Grund wird die Entwicklung der Pro-Kopf-Umweltkostenbelastung analysiert. Geht man davon aus, daß sich die Arbeitskräfte $A(t)$ mit einer Rate n vermehren, dann steigt unter Verwendung von Gleichung (41) die Pro-Kopf-Belastung wie folgt:¹⁾

$$\lim_{D(w_Y - U) \rightarrow 0} \lim_{w_Y \rightarrow n+F} D \left(\frac{I_u(t)}{A(t)} \right) = \lim \left(\frac{D(w_Y - U)bY}{\rho_u A(t)} + \frac{w_Y - U}{\rho_u} (w_Y - U - n) \frac{bY}{A(t)} \right),$$

$$= \frac{I_u(t)}{A(t)} (F - U), \quad (43)$$

$$w\left(\frac{I_u}{A}\right) = (F - U).$$

Wie zu ersehen ist, steigt oder fällt die Pro-Kopf-Belastung, je nach dem ob der harrodneutrale technische Fortschritt größer oder kleiner als der technische umweltfreundliche Fortschritt ist.

1. Die Analyse der Pro-Kopf-Belastungen wird auch von Dieter Bender, a.a.O., S. 202 ff. untersucht.

Galt nun in $t < 0$

$$w_Y = n + F = s \cdot \rho_p \quad (44)$$

als Gleichgewichtsbedingung des Wachstums, dann ist diese Bedingung auch bei Umweltinvestitionen erfüllt, wenn folgendes gilt:

$$\lim_{\substack{t \rightarrow \infty \\ w_b < 0}} \left[\rho_p (s - i_u) \leq n + F < s \cdot \frac{\rho_u}{b} \right] = \rho_p \cdot s = n + F. \quad (45)$$

Gleichung (45) kann aus Gleichung (39) und (19) hergeleitet werden. Gleichung (45) kann allerdings dann auf Dauer nicht erfüllt sein, wenn der Schadstoffkoeffizient exogen ansteigt, $w_b > 0$ ist. Bleibt b allerdings konstant können Datenänderungen bei der Sparquote s bzw. bei der Kapitalproduktivität ρ_p die Gleichgewichtsbedingung (44) herbeiführen.

Resümee:

Die ex-ante-Verurteilung des Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität durch den Club of Rome in seinem ersten Bericht kann durch diesen Ansatz nicht bestätigt werden, auch wenn wie im neomalthusianischen Ansatz angenommen wird, daß $U = 0$ sei. Bei $U = 0$ müssen allerdings die Sparquote und die Kapitalproduktivität soweit veränderbar sein, daß trotz Umweltinvestitionen, die nichts zur Endnachfrage beitragen sollen, die Wachstumsrate des Sozialprodukts mit der Wachstumsrate der Arbeitskräfte n und des harrodneutralen technischen Fortschritts F übereinstimmt. Dies allerdings führt zu Einkommens- bzw. Konsumverlusten, da von einem niedrigeren Einkommens- bzw.

Konsumniveau ausgegangen werden muß. Bleiben Sparquoten s und Kapitalproduktivität ρ_p konstant, dann kommt es zu Wachstumsverlusten. Dieser Ansatz basiert allerdings auf der Annahme, daß die Produktivität des Umweltkapitals konstant bleibt im Gegensatz zum ersten Bericht an den Club of Rome.

Ferner wurde festgestellt, daß die Umweltintensität der wirtschaftlichen Aktivität, die im Schadstoffkoeffizienten zum Ausdruck kommt, unter gewissen erwähnten Bedingungen soweit gesenkt werden kann, daß die Umweltbelastungen durch die wirtschaftliche Aktivität trotz Wachstums des Sozialprodukts nicht mehr ansteigen werden.

Eine Aussage darüber, ob die für das gleichgewichtige Wachstum des Sozialprodukts und für die Umweltqualitätsrestriktion notwendige Investitionen erreicht werden können, wird im Rahmen dieses bedingungstheoretischen Ansatzes nicht getroffen.

2. Modifiziertes Harrod-Domar-Modell mit endogener Verteilung der Fortschrittskomponenten F und U ¹⁾

Im ersten postkeynesianischen Ansatz wurden die Wirkungen der Umweltinvestitionen auf Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität und Umweltqualität untersucht. Dabei wurde eine bestimmte Konstellation zwischen umweltfreundlichem und harrodneutralem technischen Fortschritt vorgegeben ohne zu prüfen ob beide voneinander abhängen. Diesem Problem wird bei Vernachlässigung der Umweltinvestitionen in diesem Ansatz nachgegangen und seine Auswirkungen auf Wirtschaftswachstum und Umweltqualität geprüft.

-
1. F bedeutet harrodneutraler technischer und U umweltfreundlicher technischer Fortschritt.

a) allgemeiner Ansatz

Ehe nun auf die Gedankengänge von McCain's Arbeit¹⁾ eingegangen wird, soll geprüft werden, welche Fortschrittsarten in welcher Höhe notwendig wären, um ein Wachstumsgleichgewicht bei konstanter Arbeits-, Kapital- und Umweltproduktivität zu erreichen. Es wird nun unterstellt, daß eine Volkswirtschaft durch folgende drei Wachstumspfade gekennzeichnet werden kann:

$$Y(K(t))_{\max} = \frac{1}{k}K(t), \quad (46)$$

$$Y(A(t))_{\max} = \frac{1}{a}A(t), \quad (47)$$

$$Y(V(t))_{\max} = \frac{1}{b}V(t). \quad (48)$$

k, a und b sind als Kapital-, Arbeits- und Schadstoffkoeffizient definiert. Es ist nun unwahrscheinlich, daß Kapital $K(t)$, Arbeitskräfte $A(t)$ und der Umweltverbrauch $V(t)$ bei konstanten Produktivitäten solche Werte annehmen, daß alle drei Einkommenspfade zum gleichen Einkommen $Y(t)$ führen. Vollbeschäftigung der einzelnen Faktoren und Wachstumsgleichgewicht kann aber nur herrschen, wenn

$$Y(K(t))_{\max} = Y(A(t))_{\max} = Y(V(t))_{\max},$$

$$w_Y(K(t)) = w_Y(A(t)) = w_Y(V(t)). \quad (49)$$

Der maximal erreichbare Einkommenspfad wird allerdings durch den minimalen Einkommenspfad, der in Gleichung (46), (47) und (48) beschrieben wird, bestimmt,

$$Y(t)_{\max} = \min \left\{ \frac{1}{k}K(t); \frac{1}{a}A(t); \frac{1}{b}V(t) \right\}. \quad (50)$$

1. McCain's Ansatz wird unter Abschnitt b hergeleitet.

Eine Angleichung der verschiedenen Einkommenspfade wäre dann z.B. möglich, wenn es in den verschiedenen Bereichen zu Fortschritten kommt, die die Kapital-, Arbeits- und Umweltqualitätsproduktivität in der erforderlichen Weise erhöhen:

$$w_Y(K(t)) - w_Y(t) = w_K, \text{ bzw.}$$

$$w_Y(t) - w_K(t) = -w_K. \quad (51)$$

Analog ist eine über das wachsende Arbeitsangebot n hinausgehende Rate des Sozialprodukts nur auf Dauer möglich, wenn

$$w_Y(t) - n = -w_a = F(t), \quad (52)$$

m.a.W. die Arbeitsproduktivität muß in Höhe der Diskrepanz steigen.

Mit der Umweltqualität wird genauso vorgegangen:

$$w_Y(t) - w_V(t) = -w_b = U(t). \quad (53)$$

Da die Umweltqualität $Q(t)$ konstant bleiben soll, müssen die Emissionen auf dem Niveau gehalten werden, bei welchem sie vollständig assimiliert werden können,

$$w_Y(t) - 0 = -w_b. \quad (54)$$

Gleichgewichtiges Wachstum wäre im Rahmen dieses Ansatzes nur möglich, wenn es gelingt, bestimmte Effizienzsteigerungen bei den betreffenden Faktoren zu erreichen, z.B. muß der Schadstoffkoeffizient in der gleichen Rate vermindert werden wie das Sozialprodukt steigt¹⁾.

1. Dieser allgemeine Ansatz wurde hier entwickelt, um die Gedankengänge von MacCains'- Ansatz zu verdeutlichen.

b) Ableitung des McCain-Ansatzes¹⁾

McCain geht realistischlicherweise davon aus, daß dieser Ausgleich über die Produktivitätsfortschritte nur begrenzt möglich sein kann. Diese Innovationsgrenzen können durch begrenzte Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen begründet werden, wenn man eine Beziehung zwischen technischen Fortschritt und Forschungs- und Entwicklungsaufwand unterstellt. Legt man nun auf bestimmte Forschungsobjekte großen Wert, dann könnten mindere Anstrengungen in einem Gebiet Kräfte freimachen für größere Fortschritte in anderen Gebieten. In der Literatur war dieses Phänomen unter Pentagon-Effekt bekannt. Wissenschaftler versuchten nachzuweisen, daß die Akkumulierung von Human Capital für Forschung und Entwicklung im Bereich der Rüstung und Weltraumfahrt mit Fortschrittsminderungen z.B. in der Textilindustrie erkaufte wurde.

Ferner geht McCain davon aus, daß die tatsächliche Wachstumsrate des Volkseinkommens zwischen der Wachstumsrate des Kapitals und der Wachstumsrate der Arbeitskräfte liegt, da er keine Produktivitätsfortschritte beim Kapital unterstellt. Die befriedigende Wachstumsrate, die die Vollbeschäftigung des Kapitals ausdrückt, müßte dann durch Sparquotensenkung gegebenenfalls herbeigeführt werden. Diese Annahmen haben zur Folge, daß sich die Forschungsaktivitäten auf den Arbeits- und Umweltsektor konzentrieren.

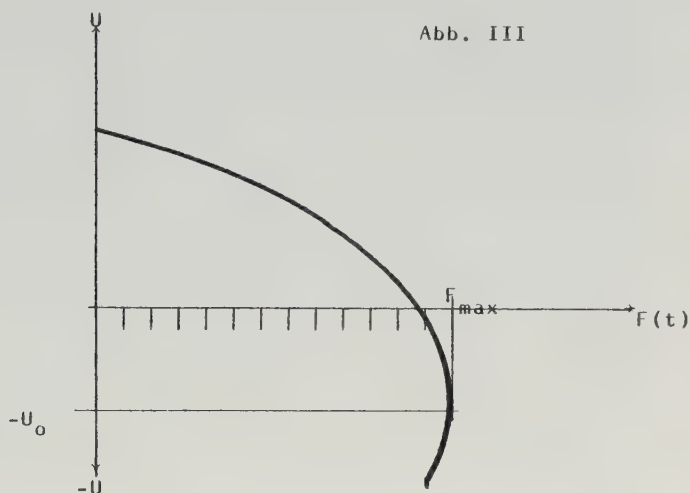
McCain geht von folgender Situation aus:

$$w_Y(K) > w_Y(A) > w_Y(V) = 0. \quad (55)$$

Diese Situation findet McCain vor, und er ist der Meinung, daß die Transformation von Forschungskapi-

1. Vgl. McCain, Roger A., "Endogenous Bias in Technical Progress and Environmental Policy", in: *American Economic Review*, Vol. 65(1975), S. 338 - 344.

tal von einem Forschungsgebiet in das andere dem Gesetz der abnehmenden Grenzerträge unterliegt. Die Transformation ist also nur durch steigende Kosten möglich, wie aus Abb. III zu ersehen ist:



Es spricht einiges dafür, daß die maximale Effizienzsteigerungen bei den Arbeitskräften nur auf Kosten der Umweltqualität möglich waren. Dies ist in dem Sinne zu interpretieren, daß der harrodneutrale technische Fortschritt in Bezug auf die Umweltqualität nicht neutral war, sondern daß durch ihn auch der Schadstoffkoeffizient anstieg. Ohne Umweltpolitik würde die Wachstumsrate des Sozialprodukts ihr Maximum erreichen,

$$w_Y(t) = n + F_{\max} \cdot \quad (56)$$

Die Höhe der Fortschrittsarten hängt außer von den steigenden Opportunitätskosten bei Verschiebungen der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auch noch von den Kostenansprüchen und deren relativer Stärke ab.

Das Volkseinkommen kann aufgeteilt werden in die Kostenarten Lohnkosten L , Zinskosten Z und Umweltkosten K_Q und den Gewinn G^1):

$$Y = Z + L + K_Q + G. \quad (57)$$

Ohne Entgelt für Umweltleistungen sind auch die in anspruchgenommenen Umweltleistungen unbewertet und damit die Umweltkosten $K_Q = 0$. Das Volkseinkommen teilt sich dann wie gewohnt in Lohn-, Zins- und Gewinnansprüche auf. Gibt es eine Emissionssteuer oder Umweltzertifikate, so werden die Umweltkosten größer Null. Die Aufteilung der Forschungsaktivitäten und damit letzten Endes des technischen Fortschritts hängt im Ausgangspunkt von der Aufteilung der Kosten auf die verschiedenen Kostenarten ab. Für die Entwicklung dieser Fortschrittsarten spielen allerdings weniger die tatsächlichen Kostenanteile nach erfolgter Substitution, sondern die Kostenansprüche eine Rolle. Geht man davon aus, daß die Wirtschaftssubjekte bei konstant bleibenden Ansprüchen daran denken, ihre Inputfaktoren Arbeit, Kapital und Umweltleistungen proportional zur Einkommensentwicklung zu vermehren, dann würden die Lohn-, Zins- und Gewinneinkommensquote ohne unternehmerische Forschungs- und Entwicklungspolitik konstant bleiben:

$$l = z \cdot v + l \cdot a + q \cdot b + r. \quad (58)$$

Die Konstanz der Ansprüche impliziert damit auch die Konstanz der Koeffizienten a, v, b und r . Werden nun allerdings bei unveränderten Zinsansprüchen die Lohnforderungen erhöht und der Staat koppelt seine Preisforderungen für Umweltleistungen an die wirtschaftliche Entwicklung, so können die Unternehmer bei einer limitationalen Produktionsfunktion mit konstanten Koeffizienten a, v und b dem Kostendruck nur auswei-

1. McCain, Roger, a.a.O. interessiert sich in seiner Arbeit nur für die Relation der Arbeitskosten zu den Umweltkosten. Diese Relation wird dann konstant gehalten.

chen, indem sie in den betreffenden Sektoren versuchen die Produktivität der Inputs zu erhöhen. Bleibt diese Situation über die Zeit charakteristisch, so werden die Forschungsaktivitäten immer mehr in die Sektoren gelenkt, denen es gelungen ist, ihre realen Forderungen zu erhöhen. Würde die Emissionssteuer konstant bleiben, dann würden die Forschungsaktivitäten immer mehr auf den Arbeitssektor verschoben bis es über Effizienzsteigerungen F dort gelingt soviel Arbeitskräfte einzusparen, daß diese Kostenart konstant bleibt. Dies ist der Fall bei $w_1 = F$. Übersteigt der harrodneutrale technische Fortschritt F die Lohnforderungserhöhungen, dann sinkt die Lohnquote und die Gewinnquote kann sich erhöhen, vice versa bei $F < w_1$. Arbeitslosigkeit herrscht nur dann nicht, wenn das wachsende Arbeitsangebot plus der durch Effizienzsteigerungen freigesetzten Arbeitskräfte über den Wachstumsprozeß wieder in den Arbeitsprozeß integriert werden kann. Da die Emissionssteuer q konstant gehalten wurde, ist zu vermuten, daß die Umweltbeanspruchung proportional zum Einkommen gestiegen ist. Wie schon erwähnt, soll nun der Emissionssteuersatz q an die Einkommensentwicklung gekoppelt werden:

$$w_q = w_Y^1). \quad (59)$$

Diese Kostenansprüche würden bei einer produktivitätsorientierten Lohnpolitik und positivem Bevölkerungswachstum mehr erhöht werden als die Lohnforderungen. Die Kostenexplosion im Lohnsektor wäre damit geringer als im Umweltsektor, was eine Verlagerung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zum größten

1. Gleichung (59) wird wie folgt hergeleitet: bei McCain:

$$w \left(\frac{L(t)}{K_Q(t)} \right) = w \left(\frac{1 \cdot A(t)}{q \cdot V(t)} \right) = w_1 + w_A - w_q - w_V \stackrel{!}{=} 0, \text{ wobei } w_V \stackrel{!}{=} 0 \text{ und}$$

$$w_1 = F. \text{ Daraus folgt daß } w_q = n + F = w_Y, \text{ da } w_A = n.$$

Die Transformation von Forschungskapital von einem in den anderen Sektor hört also erst dann auf, wenn diese Relation sich nicht mehr verändert.

Teil auf den Umweltsektor bedeuten würde. Der technische Fortschritt teilt sich somit langfristig unter Präferenzierung des Umweltsektors auf $A(t)$ und $V_Q(t)$ auf. Können die realen Preiserhöhungen durch entsprechende Effizienzerhöhungen nicht aufgefangen werden, so erniedrigt sich die Gewinnquote. Durch diese Umstrukturierung des Forschungs- und Entwicklungssektors verlangsamt sich das Wachstum, da F bedeutend kleiner ausfällt. Mit diesem Ansatz ließe sich auf eine Konkurrenz zwischen Umwelt- und Lohnkosten schließen, was nicht exakt ist. Die Gewinnquote müßte hinzukommen. Der gesellschaftliche Konfliktstoff wird allerdings durch diese Umwälzungen nicht vermindert.

Resümee

MacCain ging also davon aus, daß die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in jene Sektoren gelenkt werden, in denen die realen Preise für Produktionsfaktoren erhöht werden konnten. Da er auch eine kausale Beziehung zwischen Forschungs-, Entwicklungsaktivitäten und technischem Fortschritt unterstellte, führte die Transformation des Forschungskapitals auch zu Veränderungen bei den Fortschrittsarten, wenn auch diese Transformation dem Gesetz des abnehmenden Grenznutzens unterlag. Durch die Steuerbarkeit der Effizienzzuwächse wurde auch ein Teil der systemimmanenten Instabilität des Harrod-Modells abgebaut, da die Chance besteht, daß sich die Wachstumspfade im Zeitablauf mindestens teilweise anpassen. Der Preis dieser Lenkung ist die Verlangsamung des Wirtschaftswachstums gegenüber eines Ansatzes ohne Bewertung von Umweltgütern, da F kleiner ausfällt als ohne Endogenisierung der Fortschrittsarten. Stoßen die Effizienzerhöhungen an ihre Innovationsgrenze, sind Variationen von s, k und Umweltinvestitionen notwendig. Wie im letzten Ansatz erwähnt, nimmt

die Bedeutung der Umweltinvestitionen bei $w_b < 0$ im Zeitablauf ab. Während i_u kleiner wird, nimmt die Emissionssteuer stets zu und zwar der Rate des Sozialprodukts entsprechend. Es klafft damit zwischen aus lenkungspolitischen Gründen notwendigen und tatsächlichen Kosten für Umweltqualitätsmeliorationen eine Lücke auf.

Der Wachstumspessimismus der neomalthusianischen Richtung kann also nicht geteilt werden. Gilt die in Abb. III gezeichnete Innovationsgrenze, dann werden die notwendigen Fortschritte im Umweltsektor durch eine Verlangsamung des Wachstums der wirtschaftlichen Aktivität erkaufte. Wachstumsgleichgewicht kann also erreicht werden.

3. Modifiziertes Domar-Modell mit gebundenem technischen Fortschritt¹⁾

Die Innovationsgrenzen, die sich durch gegebene Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten begründen ließen, sollen aufgegeben werden. Statt dessen wird eine kausale Beziehung zwischen Produktivitätsfortschritten und Investitionen unterstellt. Analog der Gleichungen (46), (47) und (48) wird angenommen,

$$Y(K(t)) = \rho_K K_p(t), \quad (60)$$

wobei die Produktivität des Kapitals ρ_K konstant sein soll,

$$Y(A(t)) = \rho_A(t)A(t) \quad (61)$$

$$\text{und} \quad Y(V(t)) = \rho_Q(t)V(t). \quad (62)$$

Entsprechend den Gleichungen (52), (53) und (54) werden folgende Wachstumsraten des Sozialprodukts ange-

1. Vergleiche die hier verwendeten Einkommenspfade mit dem Ansatz auf S. 52.

nommen:

$$w_Y(K) = w_{K_p}, \quad (63)$$

$$w_Y(A) = w_{\rho_A} + n \text{ und} \quad (64)$$

$$w_Y(V) = w_{\rho_V} \quad (65)$$

wobei $w_V = 0$ angenommen wird.

Es wird nun von der Hypothese ausgegangen, daß die Produktivität der Arbeitskräfte $\rho_A(t)$ durch Rationalisierungsinvestitionen gesteigert werden kann,

$$D\rho_A = gI_r(t), \quad (66)$$

wobei g als Konstante und $I_r(t)$ als Rationalisierungsinvestitionen definiert ist. Unter Beachtung von Gleichung (61) ergibt sich dann

$$w\rho_A = g \frac{I_r(t)}{Y(t)} A(t) = F(t), \quad (67)$$

$$F(t) = g \cdot i_r \cdot A(t) = g \cdot i_r(t) \cdot A(0)e^{nt}.$$

Wenn der technische Fortschritt $F(t)$ auf einem bestimmten Niveau stabilisiert werden soll, dann müssen zwar die Rationalisierungsinvestitionen $I_r(t)$ im Zeitablauf ständig ansteigen, aber die Rationalisierungsinvestitionsquote nimmt bei positivem Wachstum der Bevölkerung, $n > 0$, mit $t \rightarrow \infty$ ab,

$$\lim_{\substack{F(t) = F^* \\ t \rightarrow \infty \\ n > 0}} i_r(t) = 0. \quad (68)$$

$i_r(t)$ nimmt dabei mit der Rate n ab. Die Rationalisierungsquote bleibt allerdings konstant bei stationärer

Bevölkerung, und sie würde zunehmen, wenn die Bevölkerung schrumpft. Daraus wird ersichtlich, welche Bedeutung die Rationalisierungsinvestitionen in der westlichen Welt haben.

Für die Umweltqualität gilt nun analog zum Faktor Arbeit die Hypothese, daß die Produktivität des Umweltgüterverbrauchs $\rho_Q(t)$ durch Investitionen $I_U(t)$ gesteigert werden kann,

$$D\rho_Q = \xi \cdot I_U(t), \quad (69)$$

wobei ξ eine Konstante ist. Unter Verwendung von Gleichung (62) ergibt sich dann

$$w\rho_Q = \xi \cdot \frac{I_U(t)}{Y(t)} V(t) = U(t), \quad (70)$$

$$U(t) = \xi \cdot i_U(t) V(t).$$

Da $V(t)$ nicht ansteigen darf und als konstant betrachtet wird, ergibt sich

$$U(t) = \xi^* \cdot i_U(t). \quad (71)$$

Der umweltfreundliche technische Fortschritt $U(t)$ ist somit dann konstant bzw. kann stabilisiert werden, wenn die Investitionsquote i_Q konstant ist. Dies ist dann der Fall, wenn die wirtschaftliche Aktivität und der umweltfreundliche technische Fortschritt in der gleichen Rate wachsen,

$$U(t) = w_Y. \quad (72)$$

Gleichgewichtiges Wachstum des Sozialprodukts herrscht unter den zuvor genannten Bedingungen nur dann, wenn

$$w_Y(t) = \rho_K i_p = n + F(t) = U(t), \quad (73)$$

$$= \rho_K (s - i_r(t) - i_u(t)) = n + g \cdot i_r(t) e^{nt} = \xi^* i_u(t).$$

Da $w_Y(t) = \xi^* i_u(t)$, ist (74)

$$i_u(t) = \frac{w_Y(t)}{\xi^*}. \text{ Daraus folgt}$$

$$w_Y(t) = \rho_K \left\{ s - \frac{w_Y(t) - n}{g^* e^{nt}} - \frac{w_Y(t)}{\xi^*} \right\}, \quad (75)$$

$$= \frac{\rho_K \left(s + \frac{n}{g^* e^{nt}} \right)}{1 + \rho_K \cdot \frac{1}{g^*} e^{-nt} + \frac{1}{\xi^*} \rho_K}$$

$$\lim_{\substack{t \rightarrow \infty \\ n > 0}} w_Y(t) = \frac{\rho_K \cdot s}{1 + \frac{\rho_K}{\xi^*}} < \rho_K \cdot s. \quad (76)$$

Wie zu ersehen ist, muß die gleichgewichtige Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität nach unten korrigiert werden, wenn eine Endogenisierung der Fortschrittsarten vorgenommen wird. Die Investitionen, welche U und F induzieren, fehlen für das Kapitalwachstum. Gesamtwirtschaftlich sind Rationalisierungsinvestitionen dadurch zu rechtfertigen, daß sie den Arbeitskräftemangel durch Effizienzerhöhung der Arbeitskraft zu überwinden helfen. Analog wird die Knappheit an Umweltqualität dadurch umgangen, indem durch Umweltinvestitionen die Technologie umweltfreundlicher

wird und zwar so stark, daß sich die Umweltqualität trotz Wachstums der wirtschaftlichen Aktivität auf ein erwünschtes Niveau stabilisieren kann. Dabei nähert sich $w_Y(t)$ umso mehr $\rho_K \cdot s$ an, je größer die zugestandenen Emissionseinheiten und die Effektivität der Umweltinvestitionen sind. Auf kurze und mittlere Sicht spielen auch die Effektivität der Rationalisierungsinvestitionen und die Höhe des Arbeitspotentials eine Rolle. Sie bestimmen die Anpassung an den Grenzwert mit. Je größer das Wachstum der Bevölkerung ist, desto geringer ist die Bedeutung der Rationalisierungsinvestitionen und desto mehr verkleinert sich $i_r(t)$. Kurz- und mittelfristig ist somit das Wachstum des Sozialprodukts noch stärker verlangsamt als langfristig. Diese Diskrepanz kann noch ansteigen, wenn der Umweltverbrauch gesenkt werden soll.

Resümee

Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität ist unter den geschlossenen Prämissen möglich, wenn am Anfang ($t=0$) noch Sparmittel für Produktivinvestitionen disponibel sind. Die gleichgewichtige Wachstumsrate kann unter diesen Voraussetzungen erreicht werden, sie ist allerdings kleiner als die Rate, in welcher der technische Fortschritt nicht endogenisiert wurde. Langfristig steigt sie allerdings noch etwas an, da die Rationalisierungsinvestitionen an Gewicht im Sozialprodukt verlieren. Der umweltfreundliche Fortschritt ermöglicht es, daß die Umweltrestriktion eingehalten werden kann.

B. Einbau des Faktors Ressourcen in die Wachstumstheorie

1. In der neueren Literatur ist, wie schon erwähnt, das Verschmutzungsproblem in der wissenschaftlichen Literatur am Abklingen, die Behandlung knapper Ressourcen allerdings noch nicht abgeschlossen. Die Modelle, welche die Rohstoffknappheit behandeln, treffen ähnliche Hypothesen wie bei Beachtung der Umweltqualität. Es wird angestrebt, die akuten Mängel der Basismodelle, wie exogener Fortschritt, exogene Aufteilung des Gesamtfortschrittes, Kostenlosigkeit des Fortschrittes und seine Stetigkeit, zu beseitigen. Da die Behandlung ähnlich von statten geht wie bei Berücksichtigung des Faktors Umweltqualität, soll darauf verzichtet werden, hier ähnliche Hypothesen zu verwenden.

2. Umstellung auf eine neue Technologie

Nimmt man den Fall an, daß ein bestimmter Rohstoff zur Neige geht und die Verwendung eines anderen, nichterschöpfbaren Rohstoffes einer neuen Technologie bedarf, welche heute noch nicht einsatzfähig ist, dann spielt es eine Rolle, wann diese frühestens in Produktion gehen kann. Es wird nun angenommen, daß das Datum der Verfügbarkeit der neuen Technologie bekannt und die Forschung und Entwicklung kostenlos bzw. vernachlässigbar sei. Der Verbrauch, die Nachfrage an dem alten Rohstoff $RN(t)$ steigt parallel zum Volkseinkommen, m.a.W. der Verbrauchskoeffizient x bleibt konstant:

$$RN(t) = xY(0)e^{(n+F)t} \quad (77)$$

Folgt die Wirtschaft dem Gleichgewichtspfad, so ist bei homogenen Rohstoffbestand das Datum der totalen Ausbeutung festlegbar:

1. n = Wachstumsrate der Arbeitskräfte; F = harrodneutraler Fortschritt.

$$R(T) = R(0) - \int_0^T xY(0)e^{(n+F)t} dt = 0. \quad (78)$$

Ist der Rohstoffbestand in $t = 0$ bekannt und die Nachfrage nach Rohstoffen in der Zukunft vorhersehbar, dann kann der Zeitpunkt ermittelt werden, an dem der Rohstoff ausgebeutet ist. Dies sei in $t = T$. Dieser Rohstoff wird nur dann zum Engpaßfaktor für die wirtschaftliche Aktivität, wenn das Umstellen auf eine neue Technologie, die von diesem Rohstoff unabhängig ist, erst zu einem Zeitpunkt S möglich ist, in welchem die Rohstoffe bei gewünschtem Verbrauch schon ausgebeutet wären,

$$S > T \quad (79)$$

Bei konstantem Rohstoffkoeffizienten müßte dann die Wachstumsrate des Sozialprodukts entsprechend verlangsamt werden. Den Ausbeutungszeitpunkt T errechnet man, indem Gleichung (78) nach T aufgelöst wird.

$$\frac{R(0)}{xY(0)} = B = \int_0^T e^{(n+F)t} dt, \quad (80)$$

wobei B der Zeitraum ist, in welchem der Rohstoffbestand bei konstanter Rohstoffnachfrage ausgebeutet würde.

$$B = \frac{e^{(n+F)T} - 1}{n+F},$$

$$T = \frac{\ln \left(B(n+F) + 1 \right)}{n+F}. \quad (81)$$

Benötigt nun die Entwicklung der neuen Technologie längere Zeit, gilt also Gleichung (79), dann muß

$$w_Y < n + F. \quad (82)$$

Sind S , T , n , F bekannt, dann kann w_Y wie folgt errechnet werden, wenn

$$G = \frac{\exp(w_Y)}{\exp(n+F)} \quad \text{definiert wird: (83)}$$

$$B \stackrel{!}{=} G \cdot \int_0^S e^{(n+F)t} dt, \quad (84)$$

$$B = G \frac{e^{(n+F)S} - 1}{n+F}. \quad (85)$$

Daraus folgt

$$G = \frac{B(n+F)}{e^{(n+F)S} - 1} \quad \text{und unter} \quad (86)$$

Berücksichtigung von Gleichung (83) ergibt sich

$$w_Y = \ln G + n + F. \quad (87)$$

Die Wachstumsrate des Sozialprodukts verlangsamt sich umso mehr, je länger auf die Umstellung der Technologie zu warten ist, je größer $n + F$ sind und je kleiner der Zeitraum ist, in welchem der Rohstoffbestand bei konstanten Verbrauch ausgebeutet wird. $\ln G$ kann allerdings auch so stark negativ werden, daß die wirtschaftliche Aktivität schrumpfen muß. Dies hängt vom Rohstoffvorrat ab.

C. Resümee und Kritik

1. Die genannten bedingungstheoretischen Ansätze haben gezeigt, daß die Frage, ob Wachstum möglich ist oder nicht, ex ante nicht beantwortet werden kann. Die theoretische Möglichkeit, gleichgewichtiges Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität zu erreichen, besteht allerdings, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind. Diese Ergebnisse widersprechen damit den Resultaten des ersten Berichtes an den Club of Rome.
2. Das Wachstum des Sozialprodukts ist in der Regel nur in einer kleineren Rate möglich als die gleichgewichtige Rate in den nichtmodifizierten postkeynesianischen Ansätzen.
3. Die Hypothesen, die den technischen Fortschritt endogenisierten, führten dazu, daß die wirtschaftliche Aktivität sich auf einem umweltfreundlicheren Entwicklungspfad bewegen kann.
4. Da diese Ansätze bedingungstheoretisch zu werten sind, wurde in ihnen nicht die Stabilität der gleichgewichtigen Wachstumspfade geprüft. Es wurde auch nicht geprüft, welche Verhaltensweisen dazu führen, daß diese gleichgewichtigen Wachstumspfade angestrebt werden.
5. Da stets nach gleichgewichtigen Wachstumspfaden gesucht wurde, wurde die Bedeutung von Ungleichgewichten für die Entwicklung der wirtschaftlichen Aktivität vernachlässigt. Es wäre z.B. möglich, daß aufgrund der Ungleichgewichte die Innovationen stärker angeregt werden als dies bei Gleichgewichten möglich wäre.
6. Die Umweltkosten schlagen sich in den Umweltinvestitionen nieder. Da die Emissionen m.E. nicht aggregiert werden sollten, ist P als Vektor zu verstehen, der die einzelnen Emissionsstoffe wiedergibt. Analog ist auch die Produktivität des Umweltkapitals als Vektor zu verstehen.

Die Schäden, die durch die Emissionen verursacht werden, auch Immissionen genannt, finden ihre Berücksichtigung in der Festlegung der Umweltrestriktion. 7. Die intertemporale Verteilung der Umweltkosten kann mit diesen Ansätzen nicht zufriedenstellend gelöst werden, da erst dann zu Maßnahmen gegriffen wird, wenn die Umweltrestriktion droht, verletzt zu werden. Die Umweltmaßnahmen benötigen auch einige Zeit, bis sie wirken können, was hier nicht zu ersehen ist.

§ 2 Neoklassische Ansätze

Die neoklassischen Ansätze zeichnen sich dadurch aus, daß sie einen Anpassungsmechanismus an die Gleichgewichtsbedingungen - die bereits in den postkeynesianischen Ansätzen ausgearbeitet wurden - bei Abweichungen entwickelten und zwar über die Produktionsfunktion. Es handelt sich um eine angebotsorientierte Theorie. Vertraut man in den postkeynesianischen Ansätzen weniger auf den Selbstregulierungsmechanismus der Wirtschaft, so ist es bei den Neoklassikern eher das Gegenteil.

Es werden unter den neoklassischen Ansätzen drei Ansätze von Strøm, Solow und Suzuki¹⁾ behandelt. Im ersten Ansatz wird eine Stabilitätsanalyse bei Umweltinvestitionen und gegebenen Fortschrittsarten vorgenommen. Im zweiten Ansatz wird zuerst eine Cobb-Douglas-Funktion und dann eine CES-Funktion eingeführt. Es wird davon ausgegangen, daß die Rohstoffe importiert werden müssen, die Rohstoffkosten vermindern deshalb das Sozialprodukt. Im dritten Ansatz wird die Homogenität des Rohstoffbestands aufgegeben und von der Abhängigkeit des Sozialprodukts von den Rohstoffvorräten ausgegangen.

1. Vgl. Solow, Robert M., "Resources and Economic Growth", in: *The American Economist*, Vol. 22, Fall 1978, S. 5 - 11;
vgl. Suzuki, Hideo, a.a.O., S. 527 und
vgl. Strøm, S., "Economic Growth and Biological Equilibrium", in: *Swedish Journal of Economics*, Bd. 75(1973), S. 166 ff..

Ziel dieser drei Ansätze ist es, zu analysieren, inwieweit die Gleichgewichtspfade der wirtschaftlichen Aktivität bei Berücksichtigung einzelner Umweltfaktoren angestrebt werden und auch Stabilität aufweisen.

A. Swan-Solow-Modell mit Umweltqualität von Strøm¹⁾

Wird die Beeinflussung der Umweltqualität $Q(t)$ durch die wirtschaftliche Aktivität $Y(t)$ angenommen, so spielt es eine Rolle, welcher Angebotskapazität $QA(t)$ welche Nachfrage nach Umweltleistungen $QN(t)$ gegenübersteht,

$$DQ = QA(t) - QN(t). \quad (88)$$

Die Umweltleistungen, die in Anspruch genommen werden können, ohne daß sich die Umweltqualität $Q(t)$ verschlechtert, hängen von der Assimilationsfähigkeit der Umwelt A und der für Verbesserung der Umweltqualität eingesetzten Kapitalien $K_Q(t)$ und deren Produktivität ρ_Q ab,

$$QA(t) = \rho_Q K_Q(t) + A^2, \text{ wobei } DA = 0 \quad (89)$$

Der Verbrauch an Umweltqualität $QN(t)$ bestimmt sich aus dem Verschmutzungskoeffizient $b(t)$ und dem Sozialprodukt $Y(t)$,

$$QN(t) = b(t)Y(t). \quad (90)$$

Zur Veränderung der Umweltqualität kommt es dann, wenn Angebot und Nachfrage nach Umweltleistungen nicht übereinstimmen,

$$DQ = \rho_Q K_Q(t) + A - b(t)Y(t)^3).$$

-
1. Vgl. Strøm, S., a.a.O., S. 166ff.
 2. $QA(t)$ und ρ_Q können als Vektoren aufgefaßt werden, da sich die Stoffe, welche die Qualität beeinflussen, schlecht aggregieren lassen.
 3. Vgl. Bender, Dieter, a.a.O., S. 234 ff.

Die Abhängigkeit dieser Umweltfunktion von der Kapitalintensität soll nun mathematisch abgeleitet werden. Von Gleichung (91) wird deshalb die erste Ableitung nach der Zeit gebildet,

$$\begin{aligned} D^2Q &= \rho_Q I_Q - (n+F-U)b(t)Y(t), \quad (92) \\ &= \left[\rho_Q i_Q - (n+F-U)b(t) \right] Y(t). \quad 1) \end{aligned}$$

Ist nun $D^2Q(t) < 0$, dann bedeutet dies, daß der Umweltqualitätsverbrauch noch absolut ansteigt. Werden nun alle gesparten Mittel für Umweltinvestitionen ein, gesetzt und ist damit $w_K=0$, dann ergibt sich

$$D^2Q \Big|_{i_Q=s} = \left[\rho_Q s - \{w_Y(w_K=0) - U\}b(t) \right] Y(t). \quad (93)$$

Führt man eine Produktionsfunktion mit technischem Fortschritt, den Faktoren Arbeit und Kapital ein, so besteht die Wachstumsrate des Sozialprodukts aus folgenden Bestandteilen:

$$w_Y(t) = \alpha(w_A + F) + \beta w_K, \quad (94)$$

$$w_Y \Big|_{w_K=0} = \alpha(n+F). \quad (95)$$

Gleichung (95) wird nun in Gleichung (93) eingesetzt:

$$D^2Q \Big|_{i_Q=s} = \left[\rho_Q s - (\alpha(n+F) - U)b(t) \right] Y(t) \quad (96)$$

1. Die verwendeten Zeichen haben die gleiche Bedeutung wie in den vorangegangenen Ansätzen; α, β sind partielle Produktionselastizitäten. Gleichung (92) wurde gegenüber Ströms Gleichung um U erweitert.

Die Kapitalintensität, gemessen in Effizienzeinheiten, wird nun nach der Zeit abgeleitet:

$$\begin{aligned} Dk_e &= D\left(\frac{K(t)}{A_e(t)}\right) = \frac{DK \cdot A_e(t) - K(t) \cdot DA_e}{(A_e)^2}, \\ &= \frac{I(t)}{A_e(t)} - (n+F)k_e(t). \end{aligned} \quad (97)$$

Die Kapitalintensität steigt also dann an, wenn die Pro-Kopf-Investitionen, in Effizienzeinheiten gemessen, größer sind, als zur Aufrechterhaltung der gleichgewichtigen Wachstumsrate des Sozialprodukts bei konstanter Kapitalintensität $k_e(t)$ notwendig wäre. Investitionen und Umweltinvestitionen stehen jedoch in Konkurrenz um die Ersparnisse $S(t)$, so daß die Investitionen wie folgt ausgedrückt werden können:

$$I(t) = sY(t) - I_Q(t). \quad (98)$$

Dieser Sachverhalt wird in Gleichung (97) berücksichtigt,

$$Dk_e = s \cdot \frac{Y(t)}{A_e(t)} - \frac{I_Q(t)}{A_e(t)} - (n+F)k_e(t). \quad (99)$$

Umweltinvestitionen werden jedoch in einer Höhe erforderlich, die es gestattet, ein bestimmtes Qualitätsniveau zu erhalten. Zu diesem Zweck wird Gleichung (91) nach der Zeit abgeleitet und nach $I_Q(t)$ aufgelöst, wobei $Y(t) = y_e(k_e)A_e(t)$,

$$\begin{aligned} I_Q(t) &= \frac{1}{\rho_Q} \left[D_b \cdot y_e(k_e) \cdot A_e(t) + b(t) \left\{ \frac{\partial y_e}{\partial k_e} Dk_e \cdot A_e + y_e DA_e \right\} \right], \\ I_Q(t) &= \frac{b}{\rho_Q} \left[w_b y_e A_e + A_e \{ y_e'(k_e) Dk_e + y_e w_{Ae} \} \right]. \end{aligned} \quad (100)$$

Da jedoch

$$w_{A_e} = n + F \text{ und}$$

$$w_b = -U, \quad (101)$$

ergibt sich

$$I_Q(t) = A_e(t) \frac{b(t)}{\rho_Q} \left(y_e(n+F-U) + y_e'(k_e) Dk_e \right). \quad (102)$$

Dieser ermittelte Wert wird in Gleichung (99) eingesetzt,

$$Dk_e = s \cdot y_e \frac{b}{\rho_Q} \left(y_e(n+F-U) + y_e'(k_e) Dk_e \right) - (n+F)k_e,$$

$$Dk_e \underbrace{\left\{ 1 + \frac{b \cdot y_e'(k_e)}{\rho_Q} \right\}}_I = \underbrace{y_e \left\{ s - \frac{b}{\rho_Q} (n+F-U) \right\}}_{II} - \underbrace{(n+F)k_e}_{III}.$$

$$(103)$$

Term II gibt nun die freien Pro-Kopf-Ersparnisse an, die für Produktivinvestitionen noch zur freien Disposition stehen. Term III gibt die Produktivinvestitionen an, die für ein bestimmtes Wachstum notwendig sind. Die Höhe der Produktivinvestitionen für Kapitalintensitätsänderungen ergeben sich, wenn für Wachstumsw Zwecke nicht benutzte freie Sparmittel durch Term I geteilt werden,

$$Dk_e = \frac{\left\{ s - \frac{b}{\rho_Q} (n+F-U) \right\} y_e - (n+F)k_e}{1 + \frac{b}{\rho_Q} y_e'(k_e)}.$$

Diese Gleichung wird wie folgt erweitert:

$$\frac{(n+F)k_e \left(1 + \frac{b}{\rho_Q} y_e'(k_e) \right)}{1 + \frac{b}{\rho_Q} y_e'(k_e)} - (n+F)k_e = 0 \quad (104)$$

wobei $y_e'(k_e)k_e = \beta y_e$ und $1 - \beta = \alpha$:

$$Dk_e = \frac{y_e \left\{ s - \frac{b\{\alpha \cdot (n+F) - U\}}{\rho_0} \right\}}{1 + \frac{b}{\rho_0} y_e'(k_e)} - (n+F)k_e. \quad (105)$$

Vergleicht man nun Gleichung (105) mit (96), so kann man schreiben

$$Dk_e = D^2Q \cdot \underbrace{\frac{1}{A_e(t)\{\rho_0 + b y_e'(k_e)\}}}_{I} - (n+F)k_e. \quad (106)$$

$\frac{D^2Q}{A_e}$ steigt mit der Kapitalintensität $k_e(t)$ an, da sich das Pro-Kopf-Einkommen erhöht und damit die Möglichkeiten zur Umweltqualitätsverbesserung und weil sich der Schadstoffkoeffizient vermindert und sich dadurch die Umweltqualität verbessern kann. Außerdem wird der Grenzertrag zusätzlicher k_e -Erhöhungen immer kleiner, der Bruch in Gleichung (106) nimmt somit zu.¹⁾

Term I in Gleichung (106) analysiert also die Abhängigkeit des Umweltverbrauchs von der Kapitalintensität. Je höher die Kapitalintensität ist, desto stärker kann der Umweltverbrauch mit Hilfe von Umweltinvestitionen eingeschränkt werden. Gilt in $t = 0$ für Gleichung (91) $DQ = 0$, dann kann die Umweltqualität zunehmen, wenn mit größer werdendem $k_e(t)$ nur Umweltinvestitionen vorgenommen werden,

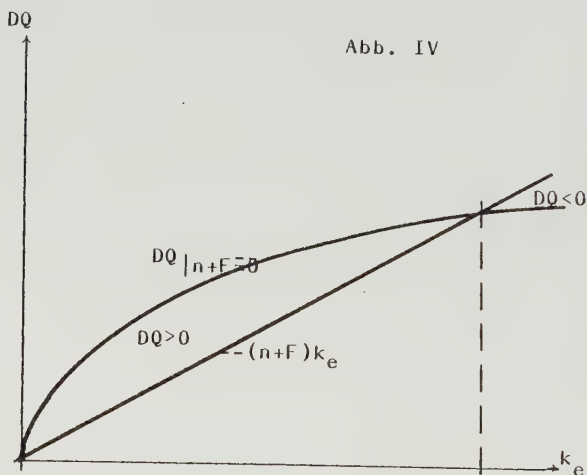
$$\lim_{k_e \rightarrow \infty} D^2Q = \lim_{k_e \rightarrow \infty} DQ = DQ^* \quad (107)$$

$$DQ(0) = 0$$

Die Umweltgüteverbesserung kann nicht ins Unendliche gesteigert werden, da mit zunehmenden k_e das Einkommen immer weniger steigt und dadurch die Umweltquali-

1. Bender, Dieter, a.a.O. S. 234 ff. löste nicht wie Ström, S., a.a.O., S. 166 ff. das Problem durch eine Umweltgütefunktion, sondern er leitete ein Konsumfunktion ab, in der sich Iu niederschlug.

tät trotz gleich bleibender Produktivität des Umweltkapitals immer weniger verbessert werden kann. Die mögliche Umweltverbesserung strebt somit gegen einen festen Wert, wenn immer größere k_e -Werte angenommen werden. Dieser Sachverhalt kann als eine maximale Umweltverbesserungsmöglichkeitsskurve in ein DQ/k_e -Diagramm eingezeichnet werden:¹⁾



Diese Umweltverbesserungsmöglichkeiten werden allerdings eingeschränkt, wenn man die zur Erreichung des Wachstumsgleichgewichts notwendigen Investitionen vornimmt. Dieser Sachverhalt kann durch einen Ursprungsstrahl in Abb. IV verdeutlicht werden, da sich die notwendigen Investitionen mit zunehmender Kapitalintensität proportional vergrößern. Da DQ unterproportional

1. Vgl. Strøm, S., a.a.O., S. 166 ff.

tional und die notwendigen Wachstumsinvestition proportional mit der Kapitalintensität steigen, ist es ab einer gewissen Kapitalintensität k^* nur noch möglich, die für das gleichgewichtige Wachstum notwendigen Investitionen bei Konstanz der Umweltqualität zu garantieren. Wird dieser k^* -Wert überschritten, dann muß entweder auf den Gleichgewichtspfad verzichtet werden oder eine Umweltgüte-Verschlechterung zugelassen werden.

Wenn nun $k_e < k^*$, so verbessert sich die Umweltqualität über das vom Staat geschützte Maß hinaus, bzw. der Staat, der nur so viele Umweltinvestitionen vornimmt, um einen bestimmten Umweltstandard aufrechtzuerhalten, ermöglicht es den Wirtschaftssubjekten außer Wachstumsinvestitionen noch Kapitalintensitätserhöhungen vorzunehmen. Die freien Sparmittel können nun genutzt werden, da sie relativ zur Arbeit billig sind. Die Produktivität des Kapitals wird jedoch dadurch nicht nur geringer, sondern auch die Diskrepanz zwischen gewünschter und tatsächlicher Umweltqualität reduziert sich ständig. Damit verlangsamt sich die Wachstumsrate des Sozialprodukts und nähert sich dem Gleichgewichtspfad an. Dieser Prozeß findet bei k^* sein Ende, da dort alle frei verfügbaren Sparmittel aufgebraucht sind.

Wenn $k_e > k^*$, dann herrscht ein Zielkonflikt zwischen der Finanzierung der notwendigen Wachstumsinvestitionen und der für die Einhaltung der Umweltrestriktion notwendigen Umweltinvestitionen. Dieser Zielkonflikt kann nur gemildert werden, indem die Kapitalintensität gesenkt wird. Das Kapital kann nun nicht mehr so schnell anwachsen wie $n+F$, wodurch w_y sinkt. Da bei Kapitalmangel stets auf die Investitionen mit der geringsten Produktivität verzichtet werden soll, steigt die Kapitalproduktivität an. Die Wachstumsrate des Sozialprodukts und des Kapitals nähert sich dann wieder der Gleichgewichtsrate an.

Da die Umweltgüteverbesserung nur unterproportional und die Wachstumsinvestitionen proportional auf die Kapitalintensitätssenkung reagieren, vermindert sich der Zielkonflikt zwischen Umweltqualität und Wirtschaftswachstum. In k^* ist dann das biologisch-ökonomische Gleichgewicht erreicht. Der Überfluß bzw. die Knappheit an freien Sparmitteln führt über die Veränderung des Lohn-Zins-Verhältnisses zu Veränderungen der Kapitalintensität. Sind diese prozentualen Veränderungen gleich groß, dann hat man es mit einer Produktionsfunktion vom Cobb-Douglas-Typ zu tun. k^* könnte dann erreicht werden. Bei einer CES-Funktion mit einer Substitutionselastizität $\sigma < 1$ sind der Stabilisierung des gleichgewichtigen Wachstumspfad Substitutionsgrenzen gesetzt. Ist z.B. $w_K < n + f$, so wird Kapital relativ zu Arbeit A_e knapp, wodurch der Zins relativ zum Lohn bei einem funktionierendem Preissystem steigen müßte. Der relativ höhere Zins bedeutet dann, daß Investitionsvorhaben mit kleinerer Rendite fallen gelassen werden. Dadurch erhöht sich die durchschnittliche Produktivität des Kapitals. Mit steigender Produktivität des Kapitals nähert sich dann die befriedigende der natürlichen Wachstumsrate des Sozialprodukts.¹⁾

Bremsend auf den Produktivitätsauftrieb wirkt bei einer Substitutionselastizität $\sigma < 1$, daß bei k_e -Senkungen der Wachstumsverlust beim Sozialprodukt immer größer wird, da das Kapital durch seine Knappheit für die Produktion immer wichtiger wird und dadurch die partielle Produktionselastizität ansteigt bis sie eins erreicht. Diese zunehmenden Wachstumsverluste führen dazu, daß die Produktivität immer weniger zunehmen kann und einen Grenzwert ρ_K^* ansteuert.

1. Vgl. Rose, Klaus, a.a.O., S. 67 ff.

Gleichgewichtiges Wachstum kann damit nur herrschen, wenn

$$n + F \leq \rho_K^* s. \quad (108)$$

Gilt dies nicht, dann kann durch k_e -Senkungen keine notwendige Produktivitätserhöhung mehr erreicht werden¹⁾.

Resümee

Die statische Stabilität, die aufgrund logischer Gedankenketten überprüft wurde, wäre bei einem $\sigma=1$ unter Berücksichtigung der Existenzbedingungen gegeben. Die gleichgewichtige Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität wäre im biologischen-ökonomischen Gleichgewicht gewährleistet. Dies gilt auch eingeschränkt für eine CES-Funktion mit $\sigma < 1$.

B. Solow-Modell mit knappen Ressourcen²⁾

Es wird hier auf eine Arbeit von Solow eingegangen, in der die Wirkungen von Preiserhöhungen der Rohstoffe auf die Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität analysiert wird. Die Analyse wird zum einen mit Hilfe einer Cobb-Douglas-Funktion und zum anderen mit einer CES-Produktionsfunktion durchgeführt.

1. Geht man von einer Cobb-Douglas-Funktion mit Arbeit, Kapital und Rohstoffverbrauch als Faktoren aus, so ergibt sich,

$$Y^{br} = \delta \cdot K^\alpha \cdot A_e^\beta \cdot V_R^\gamma, \quad (109)$$

wobei $\alpha + \beta + \gamma = 1$ und $\delta = 1$.

Vom Bruttoeinkommen Y^{br} werden dann die Kosten für Rohstoffe $K_R = pV_R$ abgezogen, da diese Stoffe entweder importiert werden müssen oder die Rohstoffkosten Realkosten der Förderung sind.

1. Vgl. Rose, Klaus, a.a.O., S. 104 ff.

2. Vgl. Solow, Robert M., "Resources and Economic Growth", a.a.O., S. 5ff.

$$Y = Y^{br} - pV_R. \quad (110)$$

Bei vollkommener Konkurrenz auf den Faktormärkten sei

$$p = \frac{\partial Y^{br}}{\partial V_R} \quad (111)$$

und das Bruttosozialprodukt verteilt sich auf

$$Y^{br} = L + Z + pV_R, \quad (112)$$

$$= (\alpha + \beta + \gamma) Y^{br}. \quad (113)$$

Berücksichtigt man nun Gleichung (110), dann folgt

$$\begin{aligned} Y &= (\alpha + \beta) Y^{br}, \\ &= (1 - \gamma) Y^{br}. \end{aligned} \quad (114)$$

Kommt es über Rohstoffverknappungen zu erhöhter Grenzproduktivität und damit erhöhten Preisen, so ist die Wirkung von Preiserhöhungen auf das Einkommen von Wichtigkeit. Aus GG.(110) ergibt sich dann

$$\frac{\partial Y}{\partial p} = -V_R. \quad (115)$$

Die Einkommenselastizität in Bezug auf die Preise¹⁾ kann nun mit Berücksichtigung von GG(111) und GG(115) errechnet werden:

$$\frac{\partial Y}{\partial p} \cdot \frac{p}{Y} = - \frac{V_R}{Y} \cdot \frac{\partial Y^{br}}{\partial V_R}, \quad (116)$$

1. Gleichung (109), (110), (111) und (116) sind von Solow's Arbeit übernommen. Für Gleichung wird nun die Abkürzung GG verwendet.

$$\text{Da} \quad pV_R = \gamma Y^{br}, \quad (117)$$

wie aus GG. (112) und (113) zu ersehen ist, kann die Einkommenselastizität auch wie folgt ausgedrückt werden:

$$\frac{\partial Y}{\partial p} \cdot \frac{p}{Y} = \gamma \cdot \frac{Y^{br}}{Y}. \quad (118)$$

Unter Beachtung von Gleichung (114) ergibt sich dann

$$\frac{\partial Y}{\partial p} \cdot \frac{p}{Y} = - \frac{\gamma}{1 - \gamma}. \quad (119)$$

Das Volkseinkommen geht dann stark aufgrund der Preiserhöhungen zurück, wenn die partielle Produktionselastizität der Rohstoffe sehr groß ist. Der Einfluß der Preiserhöhungen auf das Einkommen hängt somit von der Wichtigkeit der Ressourcen als Input der wirtschaftlichen Aktivität ab. Solow verkennt allerdings nicht den Einfluß von Substituierbarkeit und technischem Fortschritt. Der Einfluß der Rohstoffpreise auf die Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität soll nun mathematisch abgeleitet werden. Zu diesem Zweck soll GG. (114) in Verbindung mit Gleichung (109) logarithmiert und nach der Zeit abgeleitet werden, wodurch sich die Wachstumsrate des Sozialprodukts bei $w_p = 0$ ergibt:

$$w_Y(w_p=0) = \alpha w_{Ae} + \beta w_K + \gamma w_Y. \quad (120)$$

Ist w_p größer Null, dann leitet man GG. (110) nach der Zeit ab und teilt sie durch Y :

$$w_Y = w_Y \cdot \frac{Y^{br}}{Y} - \frac{p \cdot V_R}{Y} \cdot (w_p + w_Y).$$

$$w_Y = \frac{w_Y^{br}}{1 - \gamma} - \frac{\gamma}{1 - \gamma} (w_p + w_Y), \quad (121)$$

wenn man GG.(116) beachtet. Da $w_{Ybr} = w_Y(w_p=0)$ ist, ergibt sich unter Verwendung von GG.(120)

$$w_Y = \frac{\alpha}{1 - \gamma}(n+F) + \frac{\beta}{1 - \gamma}w_K - \frac{\gamma}{1 - \gamma}wp. \quad (122)$$

Je kleiner nun die partielle Produktionselastizität der Rohstoffe ist, desto weniger wird die Wachstumsrate des Volkseinkommens verlangsamt und vice versa. Dies wird an folgenden Fällen verdeutlicht. Es wird angenommen, daß die Relation $\frac{\alpha}{\beta}$ in allen Fällen konstant sei.

Fall 1: $\gamma_1 = 0$,

$$w_{Y_1} = \alpha_1(n+F) + \beta_1w_K. \quad (123)$$

Fall 2: $\gamma_2 = 0,3\bar{3}$,

$$w_{Y_2} = 1,5\alpha_2(n+F) + 1,5\beta_2w_K - 0,5wp,$$

Da $\alpha_2, \beta_2 = 0,6\bar{6}\alpha_1, \beta_1$, folgt

$$w_{Y_2} = \alpha_1(n+F) + \beta_1w_K - 0,5wp. \quad (124)$$

Fall 3: $\gamma_3 = 0,5$,

$$\begin{aligned} w_{Y_3} &= 2\alpha_3 \cdot (n+F) + 2\beta_3w_K - wp, \\ &= \alpha_1(n+F) + \beta_1w_K - wp. \end{aligned} \quad (125)$$

Fall 4: $\gamma_4 = 0,6\bar{6}$,

$$\begin{aligned} w_{Y_4} &= 3\alpha_4(n+F) + 3\beta_4w_K - 2wp, \\ &= \alpha_1(n+F) + \beta_1w_K - 2wp. \end{aligned} \quad (126)$$

Wie zu sehen ist, nimmt die Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität mit zunehmender Preissteigerung der Rohstoffe und Produktionselastizität der Preissteigerungen ab.

Solow kommt nun zu dem Schluß, daß je wichtiger der Rohstoff, desto weniger kann das Einkommen bei Preissteigerungen wachsen. Die Gefahr für Nullwachstum und Rückschritt wird größer. Allerdings sieht er das Rohstoffproblem als ein untergeordnetes Problem der entwickelten Länder, deren Produktionselastizität zwischen

$$0,02 \leq \gamma \leq 0,10.$$

liegt!).

2. Geht man von der Cobb-Douglas-Funktion ab, so wird die partielle Produktionselastizität, die Wichtigkeit der Rohstoffe im Produktionsprozeß nicht für alle Zeit festgeschrieben. Da nur die Substitutionselastizität zwischen den Rohstoffen und den anderen Inputs $f(K,A)$ interessiert, werden Arbeit A und Kapital K als Kombination $Z = f(K,A)$ zusammengefaßt. Die CES-Funktion kann nun wie folgt dargestellt werden:

$$\gamma^{br} = \left[a \cdot V_R^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + b \cdot Z^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}, \quad (127)$$

a, b sind hierbei Distributionsparameter, und σ ist die Substitutionselastizität. Der Preis der Rohstoffe entspricht nun wieder der Grenzproduktivität der Rohstoffe,

$$p = a \left(\frac{\gamma}{V_R} \right)^{\frac{1}{\sigma-1}}. \quad (128)$$

1. Vgl. bei GG. (127) und (128) Solow, Robert, a.a.O., S. 5 ff.

Die partielle Produktionselastizität wird nun errechnet, indem man GG. (128) nach $\frac{Y}{V_R}$ auflöst,

$$p^\sigma = a^\sigma \cdot \frac{Y}{V_R},$$

$$\frac{V_R}{Y} = a^\sigma \cdot p^{-\sigma}. \quad (129)$$

Wird nun GG. (129) mit p multipliziert, dann ergibt sich die partielle Produktionselastizität,

$$\gamma = p \cdot \frac{V_R}{Y} = a^\sigma \cdot p^{1-\sigma}. \quad (130)$$

Logarithmiert und leitet man dann GG.(130) nach der Zeit ab, dann ergibt sich

$$w_\gamma = \sigma w_a + (1-\sigma)w_{p_1} \quad (131)$$

$$\text{wobei } \lim_{\substack{w_a=0 \\ \sigma < 0}} \gamma = 1, \quad (132)$$

$$\lim_{\substack{w_a=0 \\ \sigma > 0}} \gamma = 0. \quad (133)$$

Die Produktionselastizität ist nun abhängig von der Preisentwicklung der Rohstoffe und der Substitutionselastizität, wenn $D_a = 0$ ist. Kann den Rohstoffen nicht genügend ausgewichen werden, so werden diese zunehmend wichtig und die Wachstumsrate des Sozialprodukts verlangsamt sich zunehmend und kann negativ werden.

3. Der technische Fortschritt kann nun in der CES-Funktion berücksichtigt werden, indem a als abhängig von der Zeit betrachtet wird.¹⁾ Da die Wachstumsrate des Sozialprodukts errechnet werden soll, wird nun GG. (127) nach der Zeit abgeleitet,

$$\begin{aligned} D Y^{br} = & \frac{\sigma}{\sigma-1} \left(\right) \frac{\sigma-\sigma+1}{\sigma-1} \cdot \{a * V\}^{\frac{\sigma-1-\sigma}{\sigma}} \cdot D \{a * V\}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \\ & + \frac{\sigma}{\sigma-1} \left(\right) \frac{\sigma-\sigma+1}{\sigma-1} \cdot \{b * Z\}^{\frac{\sigma-1-\sigma}{\sigma}} \cdot D \{b * Z\}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}, \end{aligned} \quad (134)$$

wobei $a = a * \frac{\sigma-1}{\sigma}$ und (135)

$$b = b * \frac{\sigma-1}{\sigma}.$$

Der Klammerausdruck kann nun durch Y^{br} ersetzt werden:

$$\left(Y^{br} \right)^{\frac{1}{\sigma}} = \left(\right)^{\frac{1}{\sigma-1}}. \quad (136)$$

Die Wachstumsrate des Sozialprodukts kann nun wie folgt dargestellt werden:

$$\begin{aligned} w_{Y^{br}} = & \underbrace{a(t) \cdot \left(\frac{Y^{br}}{V} \right)^{\frac{1-\sigma}{\sigma}} \cdot (w_{a*} + w_V)}_{\gamma} + \underbrace{b(t) \left(\frac{Y^{br}}{Z} \right)^{\frac{1-\sigma}{\sigma}}}_{\delta} \\ & \cdot (w_{b*} + w_Z), \\ = & \gamma(t) \left(- \frac{\sigma}{1-\sigma} w_a + w_V \right) + \delta(t) \{ w_{b*} + n + F \}. \end{aligned} \quad (137)$$

1. Vgl. Solow, Robert M., a.a.O., S. 5 ff. . Solow stellte in seiner Arbeit nur folgende Endgleichung vor: $g_{br} = s(g_a + g_V) + (1-s)(g_b + g_Z)$, wobei s die partielle Produktionselastizität der Rohstoffe ist. M.E. ist diese Gleichung nicht exakt, da $a \neq a^*$.

Berücksichtigt man nun GG. (121), bei $w_{b*} = 0$ und $\delta = (1-\gamma)$, dann ergibt sich

$$w_Y = n + F - \frac{\gamma}{1-\gamma} (w_p + \frac{1-\sigma}{\sigma} w_a). \quad (138)$$

Gibt es nun ressourcenvermehrenden technischen Fortschritt $w_{a*} > 0$, bzw. $w_{a*} < 0$, so wirkt dies positiv auf die Wachstumsrate des Sozialprodukts, wie in GG. (138) zu ersehen ist. Die Verlangsamung der Wachstumsrate wird allerdings bei konstantem w_a und w_p erst dann verhindert, wenn der Auftrieb der partiellen Produktionselastizität der Ressourcen gleich Null ist,

$$Dw_Y \gtrless 0 \text{ für } -w_a \gtrless \frac{1-\sigma}{\sigma} w_p \quad (139)$$

Diese Beziehung zwischen w_Y und w_Y wurde aus den Gleichungen (131) und (139) abgeleitet.

4. Resümee

Es kann festgehalten werden, daß sich die Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität i.d.R. bei Berücksichtigung der Ressourcen verlangsamen wird. Es besteht sogar die Gefahr, daß die Wachstumsrate negativ wird. Welchen Einfluß die Ressourcen auf den Wachstumsprozeß haben, hängt von der Wichtigkeit der Rohstoffe für den Produktionsprozeß, auch partielle Produktionselastizität genannt, ab. Ferner spielen die Preissteigerungen und der technische Fortschritt in diesem Sektor eine Rolle. Die Höhe von w_p und w_{a*} wird allerdings von der Substitutionselastizität mitbestimmt. Unterstellt man eine Substitutionselastizität von kleiner eins, dann wird sich die Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität nur stabilisieren, wenn die Preissteigerungen der Rohstoffe durch rohstoffsparenden Fortschritt kompensiert werden können.

Kritisch zu bemerken wäre die Exogenität des technischen Fortschritts und der Preiserhöhungen.

C. Solow-Stiglitz-Modell mit von Rohstofflagern abhängiger Produktivität¹⁾

Suzuki geht von einem Abbaueffekt der Ressourcen aus, da

*"the natural resource, the source of raw material is gradually depleted, it become more costly to extract an extra unit of raw material. Resource deposits of poorer quality, as well as less accessible deposits are opened up, and refinement may need more costly techniques"*²⁾

Er integriert deshalb die Rohstofflager in die Produktionsfunktion³⁾. Das Volkseinkommen hängt somit vom Kapital K, dem Arbeitskräftepotential A, dem Rohstoffverbrauch und dem hicksneutralen technischen Fortschritt h ab,

$$Y = \delta \cdot K^{\alpha_1} \cdot A^{\alpha_3} \cdot V^{\alpha_2} \cdot R^{\beta} \cdot e^{ht}, \quad (140)$$

wobei $h = \alpha_3 \cdot F$,

$$\delta = 1, \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$$

$$A(0) = 1.$$

Die Produktionsfunktion vom Cobb-Douglas-Typ kann deshalb wie folgt geschrieben werden:

$$Y(t) = K(t)^{\alpha_1} V(t)^{\alpha_2} R(t)^{\beta} \cdot e^{\alpha_3(n+F)t} \quad (141)$$

1. Vgl. Suzuki, Hideo, a.a.O., S. 526 ff.

2. Ebenda, a.a.O., S. 527

3. Der Abbaueffekt der Ressourcen schlägt sich bei Solow als Preiserhöhungsrate nieder. Gleichung (141) wurde sinngemäß von Suzuki übernommen.

Es soll nun untersucht werden, welchen Einfluß die verschiedenen Produktivitäten des Ressourcenbestandes und des -verbrauches und welche Auswirkungen eine variable Sparquote auf die Stabilisierung der gleichgewichtigen Sparquote hat.

Es wird angenommen, daß die Wachstumsrate der Grenzproduktivität des Ressourceninputs w_{ρ_V} , der des Kapitals ρ_K abzüglich der Relation von der Grenzproduktivität der Ressourcen ρ_R und des Rohstoffverbrauchs ρ_V entspricht¹⁾,

$$w_{\rho_V} = \rho_K - \frac{\rho_R}{\rho_V}. \quad (142)$$

Ferner soll gelten, daß die Veränderungen des Rohstoffbestandes in der Zeit, nur auf den Rohstoffverbrauch zurückzuführen seien,

$$DR = -V(t). \quad (143)$$

Würde der Rohstoffverbrauch über die Zeit konstant bleiben, dann wird der Rohstoffvorrat unter den genannten Bedingungen T-Jahre reichen, wobei

$$T = \frac{R(t)}{V(t)}. \quad (144)$$

Das Volkseinkommen soll für Investitionen und Konsum verwendet werden, wobei der Pro-Kopf-Konsum mit der Rate ω wachsen soll,

$$Y(t) = I(t) + C(0)e^{(\omega+n)t}. \quad (145)$$

-
1. Die Gleichungen (142), (143) wurden von Suzuki, Hideo, a.a.O., S. 531 ff. übernommen. GG. (142) erhält man, in dem man $1 + p\rho_V - q = 0$ nach der Zeit ableitet und für $Dq = -p\rho_R$, $Dp = -p\rho_K$ einsetzt. Im Solow-Modell könnte GG.(142) wie folgt geschrieben werden: $w_{\rho_V} = \rho_K - 1$.
 2. Suzuki ging vom Rohstoffkoeffizient $\frac{1}{T} = \frac{V(t)}{R(t)}$ aus.

Eine weitere Bedingung ist, daß die Wachstumsraten der Durchschnitts- und der Grenzproduktivität des Ressourceninputs gleich sein sollen,

$$w_{\rho_V} = w_{\rho_V} = w_Y - w_V. \quad (146)$$

Da die Grenzproduktivitäten als Produkt von partiellen Produktionselastizitäten und durchschnittlicher Produktivität bezeichnet werden können, gilt folgendes:

$$\rho_K = \alpha_1 \cdot \rho_K, \quad (147)$$

$$\rho_R = \beta \cdot \rho_R, \quad (148)$$

$$\rho_V = \alpha_2 \cdot \rho_V. \quad (149)$$

Unter Beachtung der Gleichungen (147) bis (149) und GG. (142), kann GG. (146) wie folgt geschrieben werden:

$$w_Y - w_V = \alpha_1 \rho_K - \frac{\beta \rho_R}{\alpha_2 \rho_V}. \quad (150)$$

$$w_V = w_Y - \alpha_1 \rho_K + \frac{1}{T} \cdot \frac{\beta}{\alpha_2}, \quad (151)$$

$$\text{da} \quad \frac{\rho_R}{\rho_V} = \frac{1}{T} \cdot 1) \quad (152)$$

Die Wachstumsrate des Sozialprodukts wird nun mathematisch abgeleitet, indem man die Prod.-funktion in GG. (141) logarithmiert und nach der Zeit ableitet. Die Ergebnisse der Gleichungen (151), (143) und (144), werden dabei berücksichtigt.

1. Die Gleichungen (146) bis (152) wurden sinngemäß von Suzuki, Hideo, a.a.O. S. 527 ff. übernommen.

$$w_Y = \alpha_1 w_K + \alpha_2 \{w_Y - \alpha_1 \rho_K + \frac{1}{T} \frac{\beta}{\alpha_2}\} - \frac{\beta}{T} + \alpha_3 (n+F),$$

(153)

$$w_Y (1 - \alpha_2) = \alpha_1 w_K - \alpha_1 \alpha_2 \rho_K + \alpha_3 (n+F),$$

$$w_Y = \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_2} w_K - \frac{\alpha_1 \alpha_2}{1 - \alpha_2} \rho_K + \frac{\alpha_3 (n+F)}{1 - \alpha_2}.$$

Die Wachstumsrate des Rohstoffverbrauchs erhält man, wenn man Gleichung (153) in GG. (151) einsetzt:

$$\begin{aligned} w_V &= \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_2} w_K - \frac{\alpha_1 \alpha_2}{1 - \alpha_2} \rho_K - \alpha_1 \rho_K + \frac{\alpha_3 (n+F)}{1 - \alpha_2} + \frac{\beta}{\alpha_2 T}, \\ &= \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_2} w_K - \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_2} \rho_K + \frac{\alpha_3 (n+F)}{1 - \alpha_2} + \frac{\beta}{\alpha_2 T}. \end{aligned}$$

(154)

Ein gleichgewichtiges Wachstum zeichne sich nun dadurch aus, daß die Kapitalproduktivität konstant bleibt, daß der Rohstoffverbrauch jeweils so festgelegt wird, um eine bestimmte Zeitspanne mit den Rohstoffvorrat überbrücken zu können, und daß die Konsumquote konstant bleibt¹⁾.

$$(1) \quad w_{\rho_K} = w_Y - w_K \stackrel{!}{=} 0, \quad (155)$$

$$w_{\rho_K} = \frac{-\alpha_3}{1 - \alpha_2} w_K - \frac{\alpha_1 \alpha_2}{1 - \alpha_2} \rho_K + \frac{\alpha_3 (n+F)}{1 - \alpha_2} = 0,$$

wobei GG. (153) berücksichtigt wurde. GG. (155) kann nun wie folgt umgeschrieben werden:

$$w_K + \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_3} \rho_K = n+F. \quad (156)$$

1. Die Gleichungen wurden sinngemäß von Suzuki, Hideo, a.a.O., S. 527 ff. übernommen. Suzuki ging allerdings von einer konstanten Relation V/R als Gleichgewichtsbedingung aus. Diese Annahme wurde ersetzt durch die Hypothese, daß eine Gesellschaft bestrebt ist, daß die Ressourcen für T -Jahre reichen.

$$(2) \quad w_T = w_R - w_V \stackrel{!}{=} 0, \quad (157)$$

$$= - \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_2} w_K + \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_2} \rho_K - \frac{\alpha_3(n+F)}{1 - \alpha_2} - \frac{1}{T} \left(1 + \frac{\beta}{\alpha_2}\right),$$

wobei die Gleichungen (154) und (143) berücksichtigt werden müssen. Bringt man die konstanten Bestandteile auf eine Seite, dann ergibt sich

$$w_K - \rho_K + \frac{1}{T}(1 - \alpha_2) \frac{\beta + \alpha_2}{\alpha_1 \alpha_2} = - \frac{\alpha_3}{\alpha_1} (n + F). \quad (158)$$

$$(3) \quad w_C = w_C - w_Y = w_{C*} + n - w_Y \stackrel{!}{=} 0, \quad (159)$$

$$= - \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_2} w_K + \frac{\alpha_1 \alpha_2}{1 - \alpha_2} \rho_K - \frac{\alpha_3(n+F)}{1 - \alpha_2} + w_{C*} + n = 0,$$

wobei GG. (153) zu berücksichtigen ist. Bringt man die konstanten Werte wieder auf eine Seite, dann ergibt sich

$$w_K - \alpha_2 \rho_K = \frac{1 - \alpha_2}{\alpha_1} w_{C*} + n - \frac{\alpha_3}{\alpha_1} F. \quad (160)$$

Die in den Gleichungen (156), (158) und (160) niedergeschriebenen Gleichgewichtsbedingungen der Wachstumsrate des Sozialprodukts, können durch folgende Determinanten-Schreibweise wiedergegeben werden:

$$\begin{vmatrix} 1 & \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_3} & 0 \\ 1 & -1 & (1 - \alpha_2) \frac{\beta + \alpha_2}{\alpha_1 \alpha_2} \\ 1 & -\alpha_2 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} w_K \\ \rho_K \\ \frac{1}{T} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} n + F \\ - \frac{\alpha_3}{\alpha_1} (n + F) \\ \frac{1 - \alpha_2}{\alpha_1} w_{C*} + n - \frac{\alpha_3 F}{\alpha_1} \end{vmatrix}$$

1. Es wurde im Gegensatz zu Suzuki vom Pro-Kopf-Konsum-Wachstum $w_{C*} = \omega$ ausgegangen.

Die Gleichgewichtswerte für Kapitalwachstum, -produktivität und Wachstumsrate der Ressourcen erhält man nun, indem man die Determinante errechnet,

$$\text{Det.} = \frac{\beta + \alpha_2}{\alpha_1 \alpha_3} \{1 - \alpha_2\}^2 > 0, \quad (162)$$

den rechten Vektor in die entsprechende Spalte der Matrix einsetzt und durch die Determinante teilt.

$$w_K = \frac{(1 - \alpha_2) \frac{\beta + \alpha_2}{\alpha_1 \alpha_2} \left\{ \alpha_2 \{n + F\} + \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_3} \left\{ \frac{1 - \alpha_2}{\alpha_1} w_{C*} + n - \frac{\alpha_3 F}{\alpha_1} \right\} \right\}}{\text{Det.}}, \quad (163)$$

$$w_K = w_{C*} + n = w_C.$$

Es herrscht u.a. dann Gleichgewicht, wenn Konsum und Kapital in der gleichen Rate wachsen.

$$\begin{aligned} \rho_K &= \frac{(1 - \alpha_2) \frac{\beta}{\alpha_1 \alpha_2} \left\{ n + \frac{\alpha_3 F}{\alpha_1} - n + F + \frac{1 - \alpha_2}{\alpha_1} w_C \right\}}{\text{Det.}}, \\ &= \frac{\alpha_3}{\alpha_2 \alpha_1} (F - w_{C*}). \end{aligned} \quad (164)$$

Da die Wachstumsraten des Konsums und des Kapitals größer Null sein sollen, muß auch die Kapitalproduktivität größer Null sein. Dies ist jedoch unter den gegebenen Annahmen nur dann möglich, wenn der Pro-Kopf-Konsum langsamer wächst als der technische Fortschritt F . Je größer dabei die partielle Produktionselastizität der Arbeit α_3 ist, desto größer kann die gleichgewichtige Kapitalproduktivität sein.

$$\rho_K \gtrless 0 \text{ für } F \gtrless w_{C*}, \text{ bzw. } n + F \gtrless w_K. \quad (165)$$

$$T = - \frac{\frac{\{\alpha_3 + \alpha_1 \alpha_2\} \{1 - \alpha_2\} \{w_{C*} - F\} + \frac{1 - \alpha_2}{\alpha_3} \cdot \alpha_2 \{n + F\}}{\alpha_1} - \frac{\alpha_2}{\alpha_1}}{\text{Det.}} \quad (166)$$

Durch Kürzen ergibt sich

$$T = \frac{1}{\beta + \alpha_2} \left(\frac{\alpha_3 + \alpha_1 \alpha_2}{1 - \alpha_2} \{F - w_{C*}\} - \alpha_2 \{n + F\} \right),$$

$$T = \frac{1}{\beta + \alpha_2} (\alpha_3 F - \alpha_2 n - (1 - \alpha_1) w_{C*}) > 0,$$

$$T = \frac{1}{\beta + \alpha_2} (\alpha_3 \{n + F - w_{C*}\} - \alpha_2 \{n + w_{C*}\}).$$

Berücksichtigt man GG.(159) und (163), so kann T wie folgt beschrieben werden:

$$T = \frac{1}{\beta + \alpha_2} \{\alpha_3 (n + F) - (1 - \alpha_1) w_Y\}. \quad (167)$$

Geht man von der Gleichgewichtsbedingung (165) aus, daß im Gleichgewicht das Sozialprodukt und das Kapital in einer kleineren Rate als $n + F$ wachsen, so wird T im Gleichgewicht umso größer sein, je größer die partiellen Produktionselastizitäten der Arbeit und des Kapitals gegenüber α_2 ,

$$T > 0, \text{ wenn } w_C = w_K = w_Y < \frac{1}{1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_3}} (n + F),$$

bzw. wenn (168)

$$w_{C*} < \frac{\alpha_3 F - \alpha_2 n}{1 - \alpha_1}.$$

Der Pro-Kopf-Konsum kann bei T größer Null nur noch wachsen, wenn

$$F > \frac{\alpha_2}{\alpha_3} n. \quad (169)$$

Die Wahrscheinlichkeit, daß der Pro-Kopf-Konsum ansteigen kann, nimmt zu, wenn die partielle Produktionselastizität der Arbeit gegenüber der des Rohstoffinputs relativ groß ist und die Bevölkerung sich nicht stark vermehrt.

Es soll nun geprüft werden, ob die ermittelten Gleichgewichtswerte Stabilität aufweisen. Zu diesem Zweck wird unter Verwendung der Gleichungen (155) und (157) folgende Verhaltensweise unterstellt:

$$\text{Für } D\rho_K \geq 0, \text{ gilt } \rho_K \leq (n+F-w_K) \frac{\alpha_3}{\alpha_1 \alpha_2}. \quad (170)$$

Die Gleichgewichtswerte der Kapitalproduktivität nehmen folglich mit zunehmendem Kapitalwachstum ab.

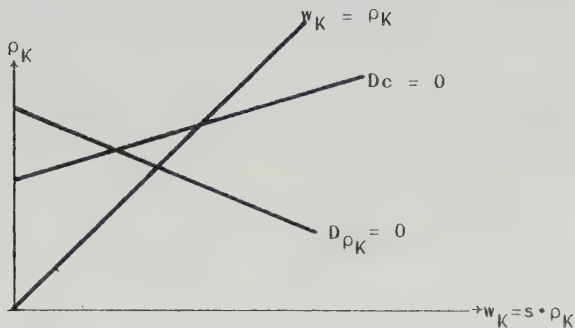
$$\text{Für } Dc \geq 0, \text{ gilt } w_K \leq \frac{1-\alpha_2}{\alpha_1} w_{C*} + n - \frac{\alpha_3}{\alpha_1} F + \alpha_2 \rho_K. \quad (171)$$

Bei konstanter Konsumquote nimmt mit steigender Kapitalproduktivität auch das Kapitalwachstum zu.

Diese Gleichgewichtslinien, $D\rho=0$ und $Dc=0$, werden nun in ein (ρ_K/w_K) -Diagramm eingezeichnet

1. Vgl. die GG. (169), (170) und (171) mit Suzuki, Hideo; a.a.O., S. 527 ff.

Abb. V



Die Gleichgewichtslinie für w_K , auf der $Dw_K = 0$ ist, kann man mathematisch ableiten¹⁾. Unterstellt man nun wie Suzuki, daß T einen konstanten Wert hat, dann gilt die Beziehung

$$w_K = s \cdot \rho_K. \quad (172)$$

Der s -Wert kann nun auf jedem beliebigen Punkt in Abb. V abgelesen werden, in dem man eine Ursprungsgerade durch den betreffenden Punkt zeichnet und den Tangens berechnet,

$$\tan \alpha = \frac{1}{s}. \quad (173)$$

Auf der Winkelhalbierenden der Abb. V wäre $s = 1$. Logarithmiert man nun GG.(172) und leitet sie nach der Zeit ab, dann gilt

$$\frac{Dw_K}{w_K} = w_s + w_{\rho_K}. \quad (174)$$

1. Vgl. Suzuki, Hideo, a.a.O., S. 529f.. Suzuki leitet Dw_K nicht mathematisch ab. Er schätzte, daß mit der Entfernung von einer Gleichgewichtslinie die Veränderung der entsprechenden Größe gegenüber der anderen Größe in ihrer Wirkung dominiert. Er zeichnete deshalb die Gleichgewichtslinie für w_K mit positiver Steigung in Figure 2 ein, was m.E. nicht richtig ist, da die Steigung negativ wird, wenn s gegen eins geht.

$$\text{Da} \quad Ds = -Dc, \text{ folgt} \quad (175)$$

$$w_s = -w_c \cdot \frac{c}{1-c} \quad (176)$$

Unter Berücksichtigung der Gleichungen (155) und (159) ergibt sich dann

$$\begin{aligned} \frac{Dw_K}{w_K} &= \frac{1}{1-\alpha_2} \left\{ \frac{c \cdot \alpha_1}{1-c} \alpha_3 \right\} w_K - \frac{\alpha_1 \alpha_2}{1-\alpha_2} \left(1 + \frac{c}{1-c} \right) \rho_K + \frac{\alpha_3 (n+F)}{1-\alpha_2} \left(1 - \frac{c}{1-c} \right) \\ &\quad - \frac{c}{1-c} (w_{c^*} + n), \end{aligned} \quad (177)$$

$$\frac{Dw_K}{w_K} = \frac{1}{1-c} \left\{ \left(c - \frac{\alpha_3}{1-\alpha_2} \right) w_K - \frac{\alpha_1 \alpha_2}{1-\alpha_2} \rho_K + \frac{\alpha_3 (n+F)}{1-\alpha_2} - c (w_{c^*} + n) \right\}.$$

Das Wachstum des Kapitals beschleunigt, bleibt gleich oder verlangsamt sich, wenn die Produktivität des Kapitals folgende Werte annimmt:

$$Dw_K \gtrless 0, \text{ für} \quad (178)$$

$$\rho_K \gtrless \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2} \{ (1-\alpha_2) c - \alpha_3 \} w_K + \alpha_3 (n+F) - c (w_{c^*} + n) (1-\alpha_2) \}.$$

Die Steigung der w_K -Gleichgewichtslinie ($Dw_K=0$) ist dann

$$\frac{\partial \rho_K}{\partial w_K} = \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2} \{ (1-\alpha_2) c - \alpha_3 \}, \text{ wobei} \quad (179)$$

$$\frac{\partial \rho_K}{\partial w_K} \gtrless 0 \text{ für } c \gtrless \frac{1}{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_3}}. \quad (180)$$

Ob die Steigung der w_K -Gleichgewichtslinie positiv oder negativ ist, hängt davon ab, welchen Wert die Konsumquote hat. Fällt diese unter einen bestimmten Wert, dann wird die Steigung negativ.

Geht man davon aus, daß die Konsumquote zwischen 0 und eins schwanken kann, dann ergibt sich

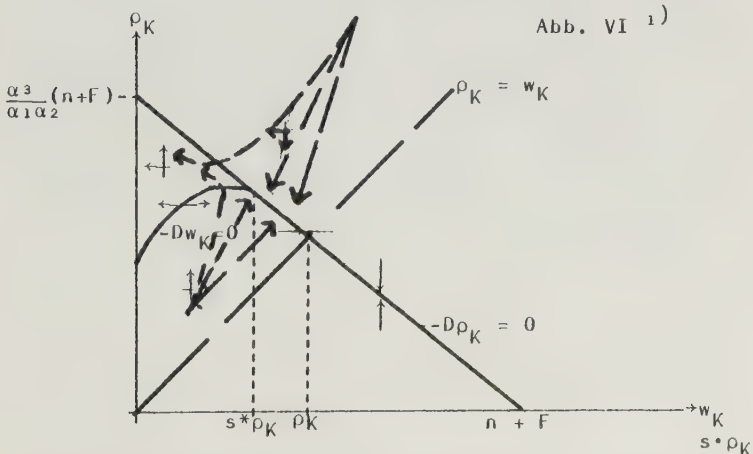
$0 < c < 1$, daraus folgt

$$\frac{-\alpha_3}{\alpha_1 \alpha_2} < \frac{\partial \rho_K}{\partial w_K} < \frac{1}{\alpha_2} . \quad (181)$$

Setzt man den Gleichgewichtswert für w_K aus Gleichung (163) in GG. (178) ein, dann folgt

$$\frac{\partial \rho_K}{\partial w_K} = - \frac{\alpha_3}{\alpha_1 \alpha_2} < 0. \quad (182)$$

Aus GG. (181) und (182) ergibt sich nun, daß die Gleichgewichtslinie für die Kapitalproduktivität und für das Kapital gleich ist, wenn w_K größer als die gleichgewichtige Wachstumsrate ist. Dies kann wie folgt dargestellt werden:



1. Vergleiche dazu die abweichende Abbildung Figure 2 bei Suzuki, Hideo, a.a.O., S. 530.

Wie aus Abb. VI zu ersehen ist, würden sich die Kapitalproduktivität und das Kapitalwachstum stabilisieren, wenn

$$s^* \leq s < 1, \quad (183)$$

wobei s^* die gleichgewichtige Sparquote wäre. Es würde sich allerdings nur um ein Teilgleichgewicht handeln, da GG. (157) durch ein zu hohes w_K und ein zu niedriges ρ_K verletzt sein würde. DT würde negativ werden und die Rohstoffrestriktion wäre nicht eingehalten worden.

Resümee

Die Existenz gleichgewichtigen Wachstums kann auch unter Berücksichtigung des Abbaueffekts der Ressourcen ex-ante nicht ausgeschlossen werden. Wenn gleichgewichtiges Wachstum möglich ist, dann muß das Pro-Kopf-Einkommen langsamer wachsen als der technische Fortschritt. Ferner verringern sich die Wachstumsmöglichkeiten des Pro-Kopf-Einkommens, wenn die Bevölkerung schnell wächst. Dies geht aus den Gleichungen (164) und (169) hervor. Die Stabilität der gleichgewichtigen Wachstumsrate ist unwahrscheinlich, wie aus Abb. VI zu ersehen ist, wenn die Sparquote variabel ist. Dagegen ist die Wahrscheinlichkeit höher, daß bei Ungleichgewichten Teilgleichgewichte angestrebt werden können. Ist dies nicht der Fall, dann geht die Sparquote gegen Null, wodurch auch w_Y trotz hoher Kapitalproduktivität gegen Null tendiert.

D. Kritische Bemerkungen zur Neoklassik

1. Statische Stabilitätsanalyse

Die Neoklassik versucht mit logischen Gedankenketten zu ergründen, ob eine Stabilisierung des Gleichgewichtswachstums nach erfolgter Störung möglich ist. Als Anpassungsmechanismus dient hier der Kapitalkoeffizient bzw. die -produktivität. Existiert eine gleichgewichtige Wachstumsrate, so bestehen im Rahmen der statischen Stabilitätsanalyse i.d.R. keine Hemmnisse, die eine Angleichung der tatsächlichen Wachstumsrate an die gleichgewichtige Wachstumsrate des Sozialprodukts verhindern, es sei denn die Angleichung wird durch Substitutionsgrenzen, die bei einer CES-Funktion mit $\sigma < 1$ möglich sind, oder durch variable Sparquoten verhindert.

Auch wenn keine Hemmnisse vorhanden wären, bliebe es offen, ob es zur Stabilisierung der gleichgewichtigen Wachstumsrate kommt. Die Berücksichtigung zeitlicher sowie räumlicher Komponenten kann dazu führen, daß der Anpassungsprozeß sehr lange dauert, Schwankungen unterworfen ist oder überhaupt nicht erfolgen kann. Die Aussagen der Neoklassik über die Stabilisierung der gleichgewichtigen Wachstumsrate sind somit von begrenztem Wert.

2. Ökonomische Relevanz von Ungleichgewichten

In den postkeynesianischen Ansätzen wurde bereits gezeigt, daß Ungleichgewichte durch Investitionen im Forschungs- und Entwicklungsbereich sowie im Umweltsektor beseitigt werden können. Inwieweit nun Ungleichgewichte notwendig sind, um die Investitionen in die entsprechenden Bereiche zu steuern, wird vernachlässigt. Einige Wissenschaftler beschäftigen sich mit diesem Problem. Sie sehen in den Ungleichgewichten oftmals die Basis zur Auslösung kreativer Reaktionen.¹⁾

1. Vgl. Frey, Bruno, "Unorthodoxe Ökonomen: Überblick", in: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium (Wist)*, Febr. 1977. S. 49 ff.

3. Integration des Faktors technischer Fortschritt im ökonomischen Modell

Der technische Fortschritt, eine wesentliche Determinante des wirtschaftlichen Wachstums, wurde lange Zeit in der Wachstumstheorie vernachlässigt. Er wurde als exogen, kostenlos und stetig betrachtet. Mit diesen Annahmen wurde man ihm nicht gerecht. In den postkeynesianischen Ansätzen wurden deshalb Fortschrittshypothesen vorgestellt, die die Integration des technischen Fortschritts in die ökonomischen Wachstumsmodelle bedeuten. Es konnte gezeigt werden, daß dies in der Regel eine Verlangsamung des Wachstums der ökonomischen Aktivität bedeutet. Auf Fortschrittshypothesen im Rahmen der Neoklassik wurde verzichtet, da keine zusätzlichen Kenntnisse in der statischen Stabilitätsanalyse aufgezeigt werden können.

4. Strukturelle Veränderungen, die sich in Nachfrage wie Angebot niederschlagen können und für Rohstoff- und Umweltverbrauch von entscheidender Bedeutung sind, wurden in der Neoklassik vernachlässigt.

5. Beim Faktor Umweltqualität kann die Last in der Ausgangsperiode untragbar sein. Über eine schrittweise Bremsung der Umweltverschlechterung wird jedoch nichts ausgesagt.

6. Durch die Wahl der Produktionsfunktion werden die Ergebnisse oftmals vorprogrammiert, obwohl es sehr unwahrscheinlich erscheint, daß die Substitutionselastizität in der Zeit konstant bleibt. Solche Konstanzannahmen, die zumeist getroffen werden, erweisen sich beim Betrachten großer Zeiträume wie sie der Wachstumstheorie zugrunde liegen als wenig realistisch.

7. Ansätze, die sich mit den Interdependenzen von Bevölkerungswachstum und Pro-Kopf-Einkommen befassen, gibt es, sie werden hier allerdings nicht behan-

delt.

IV. Wohlfahrtstheoretische Ansätze

Die bedeutendsten ökonomisch-ökologischen Ansätze werden heute im Rahmen der dynamischen Wohlfahrtstheorie vorgetragen. Im § 1 wird deshalb ein Überblick über die verschiedenen Ansätze vermittelt.

Im wesentlichen sind es allerdings zwei Problemkreise, die mit der Wohlfahrtstheorie überzeugender als mit der Neoklassik gelöst werden können. In den modifizierten neoklassischen Ansätzen wurden die Umweltfaktoren Ressourcen und Umweltqualität als Restriktion in ein ökonomisches Modell eingeführt. In der dynamischen Wohlfahrtstheorie werden die Umweltfaktoren bewertet. Dadurch kann der zugelassene Umweltverbrauch über die Zeit verteilt werden, die Kostenbelastung durch Umweltinvestitionen fängt damit nicht wie in den neoklassischen Ansätzen abrupt an, wenn die Umweltrestriktion verletzt wird. In den neoklassischen Ansätzen konnte ferner die Zeitpräferenz der Bevölkerung nicht dargestellt werden, was wiederum im wohlfahrtstheoretischen Rahmen möglich ist. Die Bedeutung dieser beiden Probleme für das Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität soll deshalb in § 2 aufgezeigt werden.

§ 1 Dynamische Ansätze unter verschiedenen Aspekten

A. Die fortschrittsorientierte Richtung der dynamischen Wohlfahrtstheorie unter besonderer Beachtung knapper Rohstoffe

Es soll in diesem Abschnitt untersucht werden, welchen Einfluß die Endogenisierung des technischen Fortschritts auf die soziale Diskontierungsrate und damit auf die Wachstumsrate des Sozialprodukts haben kann.

In vielen Arbeiten wird der technische Fortschritt exogen vorgegeben, stetige Entwicklung vorausgesetzt und Kostenlosigkeit und vollkommene Voraussicht unterstellt. In den vorherigen Kapiteln wurde dabei die Fragwürdigkeit der Annahmen von vollkommener Voraussicht und stetiger Entwicklung noch nicht überprüft, was in diesem Abschnitt geschehen soll¹⁾.

In den wohlfahrtstheoretischen Arbeiten geht man von der Annahme aus, daß eine Gesellschaft bestrebt ist, den Nutzen aus ihrem Konsum zu maximieren. Ferner werde angenommen, daß die Gesellschaft eine Zeitpräferenz kennt, sie zieht somit den heutigen Nutzen aus dem Konsum dem zukünftigen Nutzen vor. Bezeichnet man nun den Nutzen mit $U(C)$ und die Zeitpräferenz mit δ , so kann man die Nutzenfunktion wie folgt beschreiben:

$$\int_0^{\infty} U(C) dt = \max! \quad (184)$$

Geht man nun davon aus, daß die Gesellschaft versucht eine neue Technologie zu entwickeln, die keine knappen Rohstoffe mehr benötigt, dann sei der maximale Nutzen aus dem Konsum mit W bezeichnet. Der Zeitpunkt, ab welchem diese neue Technologie anwendbar wäre, soll allerdings ex-ante nicht festlegbar sein. Es wird nun angenommen, daß die Anwendbarkeit der neuen Technologie vom Wissen abhängt. Ab welchem Wissensstand die neue Technologie möglich ist, unterliege einer Wahrscheinlichkeitsfunktion $\Theta(z)$. Der erwartete Maximalnutzen aus dem Konsum setzt sich somit zusammen aus dem Konsumnutzen, der bei der alten Technologie möglich ist, multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit, daß die alte Technologie noch gilt,²⁾

1. Vgl. bei der modifizierten Diskontrate, Geoffrey Heal und Partha Dasgupta, "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources, a.a.O., S. 18 ff.
2. Eine Wahrscheinlichkeitsfunktion baute außer Heal, ebenda, noch Kamien&Schwartz, a.a.O., S. 182 ff. und Davison, a.a.O., S. 356 ff. in seine Nutzenfunktion ein.

$$U(C)\{1 - \Theta(z)\} \quad (185)$$

und dem Nutzen W , multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit, daß die neue Technologie durch eine infinitesimale Wissenserhöhung ermöglicht wird,

$$W \cdot \Theta(z)'Dz \cdot {}^1) \quad (186)$$

Der optimale Konsum, der erwartet wird, kann nun wie folgt beschrieben werden:

$$E \int_0^{\infty} e^{-\delta t} U(C) dt = \int_0^{\infty} e^{-\delta t} \{U(C)(1-\Theta(z)) + W \cdot \Theta(z)'Dz\} dt \quad (187)$$

Bezeichnet man nun

$$\Theta(z)'Dz = \omega, \text{ wobei} \quad (187)$$

$$\int_0^{\infty} \omega(\tau) d\tau = 1 \text{ und} \quad (188)$$

$$\int_t^{\infty} \omega(\tau) d\tau = \Theta(z), \quad (189)$$

dann kann auch die Wahrscheinlichkeit, daß die alte Technologie noch angewendet werden muß, wie folgt dargestellt werden:

$$1 - \Theta(z) = \exp\left(-\int_0^t \frac{D\Theta}{\Theta} \cdot d\tau\right)^2 \quad (190)$$

-
1. Wie das technische Wissen z gesteigert werden kann, wird von den Ökonomen unterschiedlich gehandhabt: Dasgupta & Heal sahen es in Abhängigkeit von der Zeit (Vgl. a.a.O., S. 18 ff.); Davison machte die Veränderungen des technischen Wissens vom Kapital abhängig (Vgl. a.a.O., S. 356 ff.), Kamien & Schwartz sahen die Ursache in den Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen (Vgl. a.a.O., S. 182).
 2. Vgl. Dasgupta, P. und Heal, G., a.a.O., S. 25

Unter Berücksichtigung von GG.(190) kann nun die soziale Diskontrate wie folgt modifiziert werden:

$$\delta^*(t) = \delta \cdot t + \int_0^t \frac{D\theta}{\theta} d\tau. \quad (191)$$

Mit zunehmenden t vergrößert sich auch die soziale Diskontierungsrate. Damit wird der heutige Konsum dem zukünftigen noch stärker vorgezogen als bei einer konstanten Diskontierungsrate. Diese zunehmende Diskontierungsrate verkleinert dadurch zunehmend die Chancen für positives Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität, weil der Nutzen aus dem Wachstum des Sozialprodukts mit t gegen unendlich kleiner wird. Der maximale, erwartete Konsumnutzen kann deshalb wie folgt beschrieben werden:

$$\int_0^{\infty} e^{-\delta t} U(C) dt = \int_0^{\infty} e^{-\delta^* t} U(C) dt + \int_0^{\infty} e^{-\delta t} w(t) W dt. \quad (192)$$

Resümee

Auch hier gilt, *"a resource that is exhaustible is not a sufficient basis for apocalyptic visions"*²⁾. Geht man wie in diesem Abschnitt von der vollkommenen Voraussicht ab, *"in any case, the assumption of perfect foresight is particularly dubious"*³⁾, dann führt die Unsicherheit über die technologische Entwicklung dazu, daß die Gegenwartsbezogenheit einer Gesellschaft zunimmt und sich damit die Chancen zukünftigen Wachstums aufgrund geringerer Nutzeneinschätzung verringern. Gibt man zusätzlich wie Davison und Schwartz & Kamien⁴⁾ die Kostenlosigkeit des tech-

1. Vgl. Dasgupta, P. und Geoffrey Heal, a.a.O., S. 23

2. Ebenda, S. 3 f.

3. Ebenda, S. 3

4. Vgl. Kamien, Morton I. und Schwartz, Nancy L., a. a.O., S. 179 ff. und Davison, R., a.a.O., S. 355 ff.

nischen Fortschritts auf, dann stellt sich die Frage, wann mit Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen zu beginnen sei.

B. Substitutionsorientierte Richtung

Hier sind vor allem Solow und Stiglitz hervorgetreten¹⁾. Beide unterscheiden zwischen "essentiellen" und nicht-"essentiellen" Rohstoffen, d.h. Rohstoffe, die ohne weiteres und solche, die nicht vollständig ersetzt werden können. Nicht-essentielle Rohstoffe können in der Produktion eine dominierende Rolle spielen und auch knapp sein, allerdings sind sie für die Produktion nicht unbedingt erforderlich; der Schaden bei totaler Ausbeute bleibt begrenzt, wenn die Substitutionselastizität größer gleich eins ist. Dadurch besteht die Chance, abgesehen von der sozialen Diskontierungsrate, daß Konsumwachstum verwirklicht werden kann. Sind die Rohstoffe allerdings essentiell und knapp, so ist es auch bei Beachtung von "Intergenerational Equity", d.h. $w_{C*} = 0$ nicht möglich, ein bestimmtes Konsumniveau aufrechtzuerhalten, wenn der Rohstoff mit t gegen unendlich nicht total ersetzt werden kann²⁾. Geht man allerdings davon aus, daß die Substitutionsmöglichkeit mit zunehmendem t wächst, so könnte man eine Prod.-fkt. mit $\sigma = 1$ für mittlere Sicht als durchaus realistisch einschätzen.

C. Marktorientierte Richtung

Unter dieser Richtung sind vor allem Stiglitz und Sweeney³⁾ zu erwähnen. Stiglitz untersucht, welche Marktformen, und Sweeney, welche Abbauerlaubnis zu optimalen, zu akzeptablen Ergebnissen führen.

1. Vgl. Solow, Robert M., "Resources..", a.a.O., S. 29f. und Stiglitz, Joseph E., "Growth..", a.a.O., S. 123 ff
2. Hogan geht z.B. von einer variablen Substitutionselastizität aus. Literaturquelle war nicht zugänglich. Siehe Anhang.
3. Sweeney, James L., a.a.O., S. 125 ff und vgl. Stiglitz, Joseph, E., "The Competitive Economy", a.a.O., S. 138 ff. und "Monopoly and...", A.a.O., S. 655 ff.

Stiglitz tritt dabei dem allgemeinen Satz entgegen, daß ein Monopol in jedem Fall mehr "conservative" sei als der vollkommene Wettbewerb. Er beweist dies anhand einer konstanten Nachfrageelastizität und der Nichtbeachtung von Förderkosten und stellt fest, daß unter solchen Voraussetzungen keine Tendenzaussage getroffen werden kann. Geht man allerdings davon aus, daß entweder Förderkosten oder variable Nachfrageelastizitäten bestehen, so wirkt das Monopol in Bezug auf die Rohstoffversorgung künftiger Generationen günstiger als die vollständige Konkurrenz. Es besteht hier allerdings die Gefahr, daß die dynamische Kraft, die aus dem Wettbewerb kommt, verkannt wird. Sweeney sieht allerdings im Rahmen der dynamischen Wohlfahrtstheorie den Wettbewerb im günstigeren Licht:

*"While competitive markets may lead to optimal allocations, many market phenomena bias the temporal pattern of extraction from optimality."*¹⁾

Die Schwierigkeiten, einen optimalen Rohstoffabbau zu erreichen, dürfen allerdings nicht unterschätzt werden, was auch Stiglitz in Bezug auf den richtigen Preis des Rohstoffes zu bedenken gibt:

*"A long run instability associated with the inability of the economy to foresee infinitely far into the future, and this a tendency either to use resource too slowly or too quickly."*²⁾

Es kommt auf den richtigen Anfangspreis an. Das würde nach Stiglitz einen Zukunftsmarkt bedingen, der nicht vorhanden ist.

1. Sweeney, James, a.a.O., S. 138

2. Stiglitz, Joseph, "The competitive Economy...", a.a.O., S. 151

§ 2 Allgemeiner Ansatz und Entwicklung eines Modelles

A. Berücksichtigung der Umwelt in der dynamischen Wohlfahrtstheorie

In der dynamischen Wohlfahrtstheorie geht es vor allem um die zeitliche Allokation der Ressourcen, z.B. der zeitlichen Verteilung der knappen Rohstoffe wie fossile Rohstoffe oder die Verteilung der Emissionseinheiten über die Zeit. Vom Sozialprodukt als Nutzenindikator wird abgesehen, und anstatt dessen für den Konsum eine Nutzenfunktion eingeführt. Zumeist wird angenommen, daß der Grenznutzen mit zunehmendem Pro-Kopf-Einkommen abnimmt, was allerdings nicht unbedingt der Fall sein muß. Außer dem Konsum als Nutzenfaktor treten nun auch Rohstoffe und die Umweltqualität in der Bewertung auf. Diese stiften heute und oder in der Zukunft Nutzen, wobei zwischen beiden Zeitpunkten Konkurrenz bestehen kann. Als Bewertungsmaßstab gilt hierfür die soziale Diskontrate, welche die Zeitpräferenz ausdrückt. Diese Konflikte werden an folgenden Fällen verdeutlicht:

1. Je höher der Konsum heute, desto weniger kann Kapital gebildet werden und desto geringer sind die Konsummöglichkeiten morgen.
 2. Genauso bedeutet heutiger Rohstoffverbrauch, daß diese Rohstoffe morgen fehlen, wenn sie nicht ersetzt werden können. Heutiger Rohstoffverbrauch stellt somit unter diesen Bedingungen einen zukünftigen Nutzenentzug dar.
 3. Analog wird durch die Umweltverschmutzung eine Last in die Zukunft geschoben.
 4. Die Kapitalakkumulation muß in der Zukunft nicht unmittelbar dem Konsum zu gute kommen.
- Es ist z.B. denkbar, daß mit dem Faktor Kapital Forschungs- und Entwicklungsobjekte finanziert werden,
-

die die Verwendbarkeit bisher ungenutzter Rohstoffquellen bzw. umweltfreundlichere Technologien untersuchen. Werden durch die Kapitalakkumulation neue Ressourcen erschlossen bzw. Umweltqualitätsverbesserungen erreicht, dann kann der zukünftige Konsum dadurch mittelbar erhöht werden.

Wie bereits erwähnt, muß der Zukunftsnutzen abdiskontiert werden, sonst würde der Nutzen in der Zukunft gegen unendlich anschwellen. Innerhalb eines mathematischen Optimierungsmodells wäre dies dann nicht lösbar. Es kann nur auf die soziale Diskontrate verzichtet werden, wenn ein endlicher Zeithorizont angenommen wird.

Die Diskontrate ist vielfältig interpretierbar. Einmal als Indiz über die Unsicherheit oder für die sich abwechselnden Generationen, wobei jede den Nutzen über ihre Lebenszeit optimieren will, und als Gegenwartspräferenz. Die Diskontierungsrate wird in den ärmsten Ländern sehr hoch sein, da der Konsum nur etwas über dem Existenzminimum liegt und die Zukunft zu ungewiß ist. Ein weiteres Indiz wäre, daß es zukünftigen Generationen besser gehen wird und deshalb zu große Opfer von der heutigen Generation nicht verlangt werden können.

Geht man allerdings von einem begrenzten Zeithorizont aus, dann müssen die Endbestände $K(T)$, $R(T)$, $Q(T)$ und der technische Fortschritt mitbewertet werden. Je nach dem, welche Endbestände mitbewertet werden, desto höher oder niedriger liegt der Konsumpfad. Es ist anzunehmen, daß der Konsum in der ersten Phase steigt, am Ende des Zeithorizonts allerdings fällt, da Investitionen jeglicher Art am Ende des Zeithorizonts unterbleiben und der Konsum damit auf Dauer nicht steigen kann.

B. Ansatz mit dem Faktor Ressourcen

1. Nutzenfunktion

Es wird nun angenommen, daß der Nutzen aus dem Konsum über einen Zeitraum T maximiert werden soll, wobei abnehmender Grenznutzen des Pro-Kopf-Konsums, positives Wachstum der Bevölkerung ($n > 0$) und eine soziale Diskontrate μ unterstellt werden,

$$W_{\max} = \int_0^T e^{(n-\mu)t} U(C^*) A(t) dt. \quad (193)$$

2. Produktionsfunktion

Es wird hier mit einer linearhomogenen Produktionsfunktion gearbeitet, in der $Y(t)$ vom Produktivkapital $K_p(t)$, dem Arbeitspotential (gemessen in Effizienzeinheiten) $A_e(t)$ und dem Rohstoffverbrauch $V(t)$ abhängt,

$$Y(t) = F\{K_p(t), A_e(t), V(t)\}. \quad (194)$$

Unterstellt man nun eine Cobb-Douglas-Funktion, so kann diese wie folgt geschrieben werden

$$Y(t) = \delta A_e^\alpha K_p^\beta V^\gamma, \quad (195)$$

wobei $\delta = 1$,

$$\alpha + \beta + \gamma = 1. \quad (196)$$

Da vermutet wird, daß der Rohstoffverbrauch mit dem Kapitalbestand in einem kausalen Zusammenhang steht, wird hier in Pro-Kapital-Größen gerechnet¹⁾,

$$\rho_K(t) = \frac{Y(t)}{K_p(t)} = F\left\{1, \frac{A_e}{K_p}, \frac{V}{K_p}\right\}, \quad (197)$$

1. Die Gleichungen (193) bis (196) werden in der heute herrschenden Literatur sehr häufig verwandt. Vergleiche hierzu Stiglitz, Joseph E., "Growth with..", a.a.O., S. 132.

$$\rho_K(t) = f(a, v)^{.1)} \quad (198)$$

Die Kapitalproduktivität hängt somit von der Arbeitsintensität $a(t)$ und der Rohstoffintensität v ab. Wie stark diese Abhängigkeit ist, wird durch die partiellen Produktionselastizitäten deutlich,

$$\rho_K(t) = a^\alpha \cdot v^\gamma. \quad (199)$$

3. Zustandsvariablen

Die Bestandsgrößen Rohstoffbestand $R(t)$, Arbeit $A_e(t)$ und $K_R^{.2)}$ werden nun in Relation zum Kapital betrachtet, da die Entwicklung dieser Relationen wichtig für die Optimierung des Konsums ist:

$$\frac{R(t)}{K_p(t)} = r(t), \quad (200)$$

$$\frac{A_e(t)}{K_p(t)} = a(t), \quad (201)$$

$$\frac{K_R(t)}{K_p(t)} = k_r(t). \quad (202)$$

a) die Arbeitsintensität nimmt nun ab bzw. die Kapitalintensität wird größer oder kann größer werden, wenn das Volkseinkommen nicht ganz für Konsum und Investitionen verwandt wurde,

$$-Da = \frac{Y(t)}{K_p(t)} - (n+F) \frac{K_p}{K_p} - w_{Kp} \frac{K_R}{K_p} - \frac{C(t)}{K_p(t)},$$

$$Da = \frac{C}{A} \cdot \frac{A_e}{K_p} \cdot e^{-Ft + n + F + w_{Kp} k_r - \rho_K}, \quad (203)$$

-
1. a = Arbeitsintensität und v = Rohstoffverbrauchsintensität. Die anderen Zeichen haben die gleiche Bedeutung wie in den anderen Ansätzen, siehe deshalb Anhang.
 2. K_R ist das Kapital, welches allgemein zur Vermehrung der Rohstoffe eingesetzt wird, z.B. Suche nach neuen Rohstoffen oder Methoden der besseren Ausbeute.

$$Da = C \cdot e^{-Ft} \cdot a^{n+F+w_{Kp}} \cdot k_r \cdot \rho_K. \quad (204)$$

b) Die Veränderung der Rohstoffintensität kann wie folgt mathematisch hergeleitet werden:

$$Dr = D \left(\frac{R(t)}{K_p(t)} \right) = \frac{DR \cdot K_p - R \cdot DK_p}{K_p^2}. \quad (205)$$

Unter Berücksichtigung von GG.(200) folgt,

$$Dr = \frac{DR}{K_p} - r \cdot w_{Kp}. \quad (206)$$

Die Veränderung des Rohstoffbestandes DR hängt in diesem Ansatz vom Rohstoffverbrauch $V(t)$, dem Rohstoffkapital $K_R(t)$ und deren Produktivität ρ_R ab. Die Veränderung der Rohstoffrelation $r(t)$ kann deshalb wie folgt geschrieben werden:

$$Dr = \rho_R k_r - v - r \cdot w_{Kp}. \quad (207)$$

c) Analog wird die Veränderung der K_R -Relation hergeleitet:

$$\begin{aligned} Dk_r &= D \left(\frac{K_R}{K_p} \right) = \frac{DK_R K_p - K_R DK_p}{K_p^2}, \\ &= \frac{DK_R}{K_R} \cdot \frac{K_R}{K_p} - k_r w_{Kp}, \\ &= k_r (w_{K_R} - w_{Kp}). \end{aligned} \quad (208)$$

4. Herleitung der Hamilton-Funktion¹⁾

Unter Beachtung der Gleichungen (204), (207) und (208) kann die Hamilton-Funktion wie folgt geschrieben werden:

$$\begin{aligned}
 H = e^{(n-\mu)t} & A(0) C^{*1-\xi} + \lambda_a (C^* e^{-Ft} a^{n+F+w_{kp} k_r - \rho_K}) \\
 & + \lambda_r (\rho_R k_r - v - r \cdot w_{kp}) + \lambda_{kr} k_r (w_{kr} - w_{kp}),
 \end{aligned}
 \tag{209}$$

wobei λ_a , λ_r und λ_{kr} als Kozustandsvariablen (Schattenpreise) bezeichnet werden können. Die Hamilton-Funktion zeigt, wie zu ersehen ist, den Nutzen in einem Zeitpunkt t an. Der Nutzen besteht aus dem Konsum zu diesem Zeitpunkt und den Nutzenveränderungen, die durch Veränderungen der Zustandsvariablen hervorgerufen werden und damit Folgen für den zukünftigen Konsum haben werden.

5. Die dynamische Optimierungsfunktion

Bezeichnet man in GG. (209) von den Gleichungen (204), (207) und (208) übernommenen Teile mit f_a , f_r und f_{kr} und ist man an der Darstellung vom Konsumoptimum interessiert, dann kann die Optimierungsfunktion wie folgt dargestellt werden:

$$\begin{aligned}
 L = \int_0^T \{ H - \lambda_a D a - \lambda_r D r - \lambda_{kr} D k_r \} dt + F \{ a(T), r(T), \\
 k_r(T), T \}.
 \end{aligned}
 \tag{210}$$

L stellt dann den optimalen Konsum über den Zeitraum T plus den Nutzen aus den Endbeständen der Zustandsvariablen $a(T)$, $r(T)$ und $k_r(T)$ dar, wenn die

1. Vergleiche beispielsweise die Anwendung der Hamilton-Funktion bei Kamien, Morton I. und Schwartz, Nancy L., a.a.O., S. 183.

Gleichungen (204), (207) und (208) gelten und damit

$$f_a - Da = 0,$$

$$f_r - Dr = 0 \text{ und}$$

$$f_{kr} - Dk_r = 0. \quad (211)$$

Da

$$\begin{aligned} - \int_0^T \{ \lambda_a Da + \lambda_r Dr + \lambda_{kr} Dk_r \} dt &= - \lambda_a \Big|_0^T - r \lambda_r \Big|_0^T - \\ & k_r \lambda_{kr} \Big|_0^T + \int_0^T \{ D\lambda_a \dot{a}(t) + D\lambda_r \dot{r}(t) + D\lambda_{kr} \dot{k}_r(t) \} dt, \end{aligned} \quad (212)$$

kann die Optimierungsfunktion wie folgt geschrieben werden

$$\begin{aligned} L = & \int_0^T \{ H + D\lambda_a a(t) + D\lambda_r r(t) + \lambda_{kr} k_r(t) \} dt + \\ & F\{a(T), r(T), k_r(T), T\} + \lambda_a(0)a(0) - \lambda_a(T)a(T) + \\ & \lambda_r(0)r(0) - \lambda_r(T)r(T) + \lambda_{kr}(0)k_r(0) - \lambda_{kr}(T)k_r(T). \end{aligned} \quad (213)$$

Auch hier müssen die Bedingungen (211) erfüllt sein. Wenn der Konsum optimiert ist, muß gelten

$$DL = 0. \quad (214)$$

Notwendige Bedingungen dafür sind, daß die Ableitungen

der Hamilton-Funktion nach den Zustandsvariablen der Veränderung der jeweiligen Schattenpreise, multipliziert mit minus eins, entspricht. Die anderen Ableitungen der Hamilton-Funktion nach den Kontrollvariablen müssen null sein. Ferner gilt, daß Ableitungen der Funktion F den jeweiligen Schattenpreisen entsprechen müssen.

6. Ableitungen der Hamilton-Funktion

a) Unter Beachtung der GG. (209) ergibt sich

$$H'(C^*) = 0 = A(0)e^{(n-\mu)t} C^{*- \xi} (1-\xi) + \lambda_a \cdot e^{-Ft}. \quad (215)$$

Löst man nun die Gleichung nach dem Schattenpreis auf, dann erhält man

$$\lambda_a(t) = -K_p(t)e^{-\mu t} (1-\xi) C^{*- \xi}, \quad (216)$$

da

$$a(t) = \frac{A(0)e^{(n+F)t}}{K_p(t)}.$$

Da der Schattenpreis der Arbeitsintensität negativ ist, würde eine Erhöhung der Arbeitsintensität der Wirtschaft H verkleinern. Eine Senkung der Arbeitsintensität vice versa. Die Veränderungen von H fallen umso größer aus, je größer der Kapitalstock und der Grenznutzen des Pro-Kopf-Konsums ist. Da für den Pro-Kopf-Grenznutzen des Konsums eine abnehmende Funktion unterstellt wurde, darf also der Pro-Kopf-Konsum noch nicht hoch sein.

Die Wachstumsrate des Schattenpreises erhält man nun, in dem man GG. (216) logarithmiert und nach der Zeit ableitet,

$$w_{\lambda_a} = -\mu - \xi \cdot w_{C^*} + w_{K_p}. \quad (217)$$

Der Schattenpreis der Arbeitsintensität wird absolut größer, wenn das Produktivkapital schneller wächst als die soziale Diskontrate und der Nutzen aus dem Konsumwachstum. Der Nutzenzuwachs durch Arbeitsintensitätssenkung wird damit bei H größer.

b) Leitet man die Hamilton-Funktion unter Berücksichtigung von GG.(214) nach v ab, dann ergibt sich

$$H'(v) = -\lambda_a \cdot \rho_K'(v) - \lambda_r = 0, \quad (218)$$

$$\frac{\lambda_r}{\lambda_a} = -\rho_K'(v). \quad (219)$$

Logarithmiert man GG. (219) und leitet sie nach der Zeit ab, dann ergibt sich

$$w_{\lambda r} - w_{\lambda a} \doteq w_{\rho K} - w_v, \quad (220)$$

$$w_{\lambda a} = w_{\lambda r} - w_Y + w_V, \quad (221)$$

wobei berücksichtigt wurde, daß

$$\rho_K = \frac{Y}{K_p}; \quad v = \frac{V}{K_p}. \quad (221)$$

c) Die Ableitung der Hamilton-Funktion nach der Arbeitsintensität ist unter Berücksichtigung von GG.(213)

$$H'(a) = -D\lambda_a = \lambda_a \{C * e^{-Ft} \cdot \rho_K'(a)\}, \quad (222)$$

Leitet man die Wachstumsrate des Schattenpreises her, dann folgt

$$w_{\lambda a} = \rho_K'(a) - C * e^{-Ft}. \quad (223)$$

Beachtet man GG. (199), dann erhält man

$$\begin{aligned} w_{\lambda a} &= \alpha \cdot \frac{\rho_K}{a} - C^* e^{-Ft}, \\ &= e^{-Ft} \left\{ \frac{Y(t)}{A(t)} \cdot \alpha - C^* \right\}. \end{aligned} \quad (224)$$

Der Schattenpreis der Arbeitsintensität vergrößert sich absolut gesehen, wenn der Lohnkostenanteil am Volkseinkommen größer ist als der Konsum bzw. wenn der Lohnkostenanteil am Pro-Kopf-Einkommen größer ist als der Pro-Kopf-Konsum C^* . Der Anreiz, die Arbeitsintensität zu verkleinern bzw. die Kapitalintensität zu vergrößern, nimmt bei dieser Konstellation zu. Das Gegenteil gilt, wenn der Konsum größer ist als der Lohnkostenanteil.

d) Verändert sich die Rohstoff-Relation r , dann gilt

$$H'(r) = -D_{\lambda r} = -\lambda_r \cdot w_{Kp}, \text{ bzw.} \quad (225)$$

$$w_{\lambda r} = w_{Kp}. \quad (226)$$

Die Wachstumsrate des Schattenpreises von r ist damit mit der Wachstumsrate des Produktivkapitals gleich.

e) Analog gilt für k_r

$$H'(k_r) = -D_{\lambda k_r} = \lambda_a w_{Kp} + \lambda_r \rho_R + \lambda_{kr} (w_{Kkr} - w_{Kp}). \quad (227)$$

Daraus folgt

$$w_{\lambda k_r} = w_{Kp} - w_{Kkr} - \frac{\lambda_a}{\lambda_{kr}} w_{Kp} - \frac{\lambda_r}{\lambda_{kr}} \rho_R. \quad (228)$$

f)

$$H'(w_{kp}) = \lambda_a k_r - \lambda_r r - \lambda_{kr} k_r = 0 \quad (229)$$

Löst man die Gleichung nach λ_{kr} auf, dann folgt

$$\lambda_{kr} = -\frac{\lambda_r}{k_r} r + \lambda_a \quad (230)$$

Aus den Gleichungen (216) und (219) kann gefolgert werden, daß der Schattenpreis der Arbeitsintensität negativ und der Schattenpreis der Rohstoffrelation positiv ist. Damit muß auch der Schattenpreis der K_r -K-Relation negativ sein.

7. Verlauf der Schattenpreise

Setzt man nun GG. (216) in GG. (218) und diese dann in GG. (230) ein, dann erhält man folgende Werte:

$$\lambda_a = -K_p e^{-\mu t} (1-\xi) C^* \cdot \xi < 0, \quad (231)$$

$$\lambda_r = -\rho_K'(v) \lambda_a > 0, \quad (231)$$

$$\lambda_{kr} = \left(1 + \rho_K'(v) \cdot \frac{r}{k_r}\right) \lambda_a < 0. \quad (232)$$

Schattenpreis r fällt umso größer absolut aus, je größer die Grenzproduktivität des Rohstoffverbrauchs ist. Absolut wird er allerdings kleiner als Schattenpreis a sein. Schattenpreis k_r wird dann absolut größer als die Schattenpreise a und r zusammen sein, wenn der Rohstoffbestand R größer als K_r ist. Die Wachstumsrate des Schattenpreises von r kann nun aus GG. (220), (221) und (226) ermittelt werden:

$$w_{\lambda_r} = w_Y - w_Y + w_{\lambda_a} = w_{K_p}, \quad (233)$$

Die Bedeutung der Rohstoffe nimmt also bei positivem Wachstum des Produktivkapitals zu.

Die Wachstumsrate des Schattenpreises der Arbeitsintensität kann durch GG. (233) und (217) beschrieben werden:

$$w_{\lambda a} = w_{Kp} - w_Y + w_V \quad (234)$$

$$= w_{Kp} - \xi w_{C*} - \mu$$

Wie zu ersehen ist, ist es durchaus möglich, daß der Schattenpreis absolut abnimmt, wenn der Rohstoffverbrauch zurückgehen muß. Der partielle Nutzenzuwachs aufgrund einer a -Senkung würde damit im Zeitablauf kleiner werden.

8. Herleitung der Wachstumsrate des Pro-Kopf-Konsums
Die Wachstumsrate kann nun aus GG. (234) hergeleitet werden,

$$w_{C*} = \frac{w_Y - w_V - \mu}{\xi}. \quad (235)$$

Die Chancen des Pro-Kopf-Wachstum erhöhen sich, wenn die soziale Diskontrate kleiner und die Wachstumsrate des Verbrauchs negativ wird. Die Wachstumsrate des Pro-Kopf-Konsums kann auch errechnet werden, indem man GG. (204) nach C auflöst, in GG.(223) einsetzt und diese Gleichung GG. (217) gegenübergestellt wird:

$$\rho_K'(a) - C^* e^{-Ft} = w_{Kp} - \xi w_{C*} - \mu,$$

$$\rho_K'(a) - \frac{\rho_K}{a} - w_a + \frac{n+F}{a} + w_{Kp} \cdot \frac{k_r}{a} = w_{Kp} - \xi w_{C*} - \mu$$

Diese Gleichung kann nun vereinfacht werden, wenn man von folgenden Beziehungen ausgeht:

$$\rho_K'(a) = \frac{\alpha \cdot \rho}{a} K = \alpha \cdot \frac{Y}{A_e}, \quad (236)$$

$$w_a = n+F-w_{Kp}. \quad (237)$$

Die Wachstumsrate des Pro-Kopf-Konsums errechnet sich nun wie folgt:

$$\begin{aligned} \xi \cdot w_{C*} &= \frac{Y(1-\alpha)-w_{Kp} \frac{K_r}{A_e}}{A_e} + \frac{A_e - K_p}{A_e} (n+F) - \mu, \\ w_{C*} &= \frac{n+F-\mu}{\xi} + \frac{1}{\xi A(0)} e^{-(n+F)t} \{ Y(1-\alpha)-w_{Kp} K_r \\ &\quad - (n+F)K_p \}, \\ &= \frac{n+F-\mu}{\xi} + e^{-(n+F)t} \cdot \frac{Y(1-\alpha)-w_{Kp} K_r - (n+F)K_p}{\xi \cdot A(0)}. \end{aligned} \quad (238)$$

Da $w_{Kp} K_r = I_r$, wenn $Dk_r = 0$ und (239)

$$(n+F)K_p = I_p, \text{ wenn } Dw_{Kp} = 0, \quad (240)$$

gilt im Gleichgewicht

$$\begin{aligned} w_{C*} &= \{ n+F-\mu + y_e (1-\alpha) - \frac{I_r + I_p}{A_e} \} \frac{1}{\xi}, \\ &= \frac{(1-\alpha)Y - I}{A_e \cdot \xi} + \frac{n+F-\mu}{\xi}. \end{aligned} \quad (241)$$

Die Wahrscheinlichkeit, daß die Wachstumsrate des Pro-Kopf-Konsums positiv ist, wird umso größer, je kleiner die soziale Diskontrate ist. Werden die Nichtlohnanteile des Volkseinkommens für Investitionen nicht ganz aufgebraucht, dann begünstigt dies eine positive Wachstumsrate und vice versa.

9. Resümee

In der dynamischen Wohlfahrtstheorie wurde das Verteilungsproblem der Umweltlasten dadurch gelöst, daß die einzelnen Zustandsvariablen bewertet wurden und sich damit in die gewünschte Richtung entwickeln konnten. Diese Entwicklung geht stetig vor sich und damit lastet dieser Theorie nicht der Nachteil einer Umweltrestriktion an. Es bleibt allerdings die Frage offen, inwieweit das Verteilungsproblem, welches in der Neoklassik nicht zufriedenstellend gelöst wurde, in der dynamischen Wohlfahrtstheorie durch ein Bewertungsproblem ersetzt wurde. Darauf wurde im ersten Kapitel hingewiesen.

Wie aus den Gleichungen (241) und (235) zu ersehen war, hängt in einem dynamischen wohlfahrtsttheoretischen Ansatz das Wachstum des Pro-Kopf-Konsums stark von der sozialen Diskontierungsrate ab. Das gleiche gilt für die Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität. Dies wird deutlich, wenn man GG.(195) logarithmiert und nach der Zeit ableitet und den w_V -Wert von GG.(235) einsetzt:

$$w_Y = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}(n+F) + \frac{\beta}{\alpha + \beta}w_{Kp} - \frac{\gamma}{\alpha + \beta}(\xi w_{C*} + \mu). \quad (242)$$

Je größer der Nutzen aus dem Pro-Kopf-Konsum, je größer die soziale Diskontierungsrate ist, desto kleiner fällt die Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität aus.

V. Ökonomischer Ansatz über Engpaßsituationen in der Theorie wirtschaftlichen Wachstums

Ehe auf den erwähnten Ansatz eingegangen wird, soll zunächst in § 1 Sinn und Zweck dieses Ansatzes erläutert und auf bestimmte Verhaltenshypothesen für Umweltkoeffizienten in Engpaßsituationen eingegangen werden.

§ 1 Einordnung dieses ökonomischen Ansatzes

A. Zweck des Ansatzes

1. Dieser ökonomische Ansatz soll eine Erklärung darüber geben, warum die Ergebnisse der neomalthusianischen und neoklassischen Ansätze in bezug auf das Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität so weit voneinander abweichen. Von der reinen Bedingungstheorie der Neoklassik soll dabei abgegangen werden.
2. Es soll aufgezeigt werden, daß Wachstumsschwankungen der wirtschaftlichen Aktivität ihre Ursachen im umweltökonomischen Verhalten der Wirtschaftssubjekte und in der Umweltpolitik haben können, wenn bestimmte Umweltrestriktionen eingehalten werden müssen. Nach dem zweiten Weltkrieg spielten absolute Einkommenseinbrüche in der Bundesrepublik Deutschland keine nennenswerte Rolle, obwohl die Entwicklung der wirtschaftlichen Aktivität beträchtliche Wachstumsschwankungen aufwies. Es wäre nun theoretisch zu prüfen, ob wenigstens für die Wachstumsschwankungen im letzten Jahrzehnt in der BRD die Rohstoffverknappungstendenzen verantwortlich sein könnten.
3. Es sollen die Auswirkungen der Lenkbarkeit der technologischen Entwicklung auf wirtschaftliche Aktivität und Umweltfaktoren mit Hilfe eines Flexibilitätsindex analysiert werden. Dabei kann auch langfristig Variabilität der Substitutionselastizität zwischen Umweltfaktoren und Kapital und Arbeit unterstellt werden.

Dadurch könnte theoretisch erklärt werden, warum in bestimmten Ländern noch steigende und in anderen fallende Umweltkoeffizienten zu beobachten sind.

B. Verhaltenshypothesen für Umweltkoeffizienten (Rohstoff- und Schadstoffkoeffizienten) in Engpaßsituationen

Es soll nun geklärt werden, wie sich die Umweltkoeffizienten, also Schadstoff- und Rohstoffkoeffizienten verhalten können, wenn sich die durch die wirtschaftliche Aktivität induzierte Umweltbeanspruchung (Emissionen oder Rohstoffverbrauch) den festgelegten Umweltrestriktionen nähert. Je nach der unterstellten Verhaltenshypothese für Umweltkoeffizienten, stößt die wirtschaftliche Aktivität früher oder später an eine Engpaßgrenze, es sei denn diese Engpaßgrenze kann umgangen werden. Folgende Verhaltenshypothesen sind denkbar:

1. Die wirtschaftliche Aktivität nähert sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit der Umweltrestriktion, wodurch dann der Umweltfaktor für die wirtschaftliche Aktivität zum Engpaßfaktor werden kann. Dies ist dann möglich, wenn man unterstellt, daß die Veränderungsrate des Schadstoff- bzw. Rohstoffkoeffizienten konstant ist und exogen vorgegeben wird. Es wird ein starres Verhalten unterstellt, welches sich auch bei akuten Engpaßsituationen nicht verändert¹⁾. Solches Verhalten wird im Prinzip im Meadow-Bericht²⁾ unterstellt, da dieser exponentiellen technischen, aber einmaligen umweltfreundlichen und ressourcenvermehrenden Fortschritt als wahrscheinlich betrachtet. Die Umweltkoeffizienten bleiben somit konstant.

1. Auf diese Verhaltenshypothese wird in Abschn. C eingegangen.

2. Vgl. Meadow, D.H., a.a.O.

2. Es wäre allerdings auch die Hypothese denkbar, daß die einzelnen Individuen einer Gesellschaft bestimmte Mindestvorstellungen über Umweltqualität und Rohstoffvorräte haben. Je mehr nun Umweltqualität und Rohstoffvorräte sinken, desto stärker würde dann die Forderung nach umweltfreundlichen Maßnahmen, was sich in den politischen Gremien einer Gesellschaft niederschlagen würde¹⁾.

3. Einige Wissenschaftler, vor allem Nichtökonom²⁾ gehen von der Hypothese aus, daß es möglich sei, daß die Menschen kybernetisches Denken entwickeln, sich somit in altruistische Wesen verwandeln. Dies hätte zur Folge, daß nicht nur die Politiker umdenken, sondern die ganze Gesellschaft ihr Verhalten ändert. Schadstoff- bzw. Rohstoffkoeffizienten würden dann zwar auch ansteigen, aber dann mit dem Umdenkungsprozeß abnehmen³⁾.

4. Es wäre allerdings auch denkbar, daß ohne geistige Erneuerung des Menschen es zu einem umweltbewußten Verhalten kommen kann. Geht man von der Hypothese aus, daß die Menschen aus rein egoistischen Motiven an ihrer Existenzerhaltung interessiert sind, dann spricht einiges dafür, daß sie zumindest für ihre Lebenszeit sich einen bestimmten Wohlstand erhalten wollen. Dies würde dann dazu führen, daß die Gesellschaft versucht, ihre disponiblen Umweltfaktoren auf einen bestimmte Zeitraum zu strecken. Diesen Zeitraum würde sie dann ständig vor sich herschieben. Die Umweltrestriktion würde dadurch nicht überschritten und umweltpolitische Maßnahmen würden eingeleitet, da sonst die wirtschaftliche Aktivität zurückgehen müßte. Altruistisches Verhalten würde bei einer solchen Hypothese in einem großen Zeithorizont zum Ausdruck kommen⁴⁾.

1. Eine solche Verhaltensweise ließe sich aus dem Rio-Bericht an den Club of Rome ableiten.

2. Vgl. Vester, Frederic, a.a.O., S. 234 ff.

3. Näheres zu dieser Hypothese in Abschnitt D.

4. Diese Verhaltenshypothese wird im ökonomischen Ansatz verwandt, wobei unterstellt wird, daß der erwähnte Zeithorizont T konstant bleibt.

C. Engpaßgrenzen bei konstanten alternativen Veränderungs-
raten der Umweltkoeffizienten

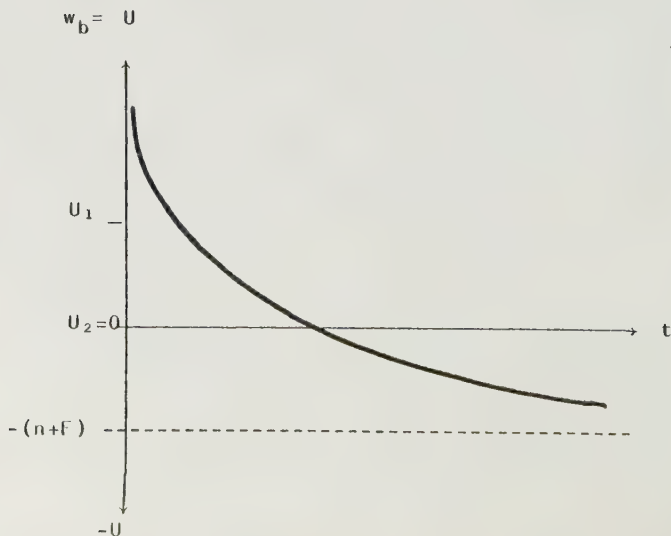
1. Umweltqualität

Nimmt man an, daß die wirtschaftliche Aktivität in einer Rate $n+F$ wachse und in $t = 0$ gilt

$$A = b(0)Y(0), \quad (243)$$

dann kann in der Ausgangssituation die Umweltverschmutzung vollständig assimiliert werden. Unterstellt man ferner, daß sich der Schadstoffkoeffizient in einer konstanten Rate verändert bzw. konstant bleibt, dann ist bei Einhaltung einer bestimmten Umweltmindestqualität der Zeitpunkt errechenbar, in welchem die Umweltqualität zu einem Engpaßfaktor für die wirtschaftliche Aktivität wird. Wann dieser Zeitpunkt erreicht ist, hängt vom Schadstoffkoeffizienten, seiner Veränderungsrate, dem Sozialprodukt und seiner Wachstumsrate und der einzuhaltenden Umweltqualität ab. Da diese Größen bekannt sein sollen, kann die Engpaßgrenze wie folgt in Abb. VII eingezeichnet werden:

Abb. VII



Erscheint nun der Umweltfaktor nicht in der privatwirtschaftlichen Kostenrechnung, dann ist es durchaus wahrscheinlich, daß sich die wirtschaftliche Aktivität auf einem umweltfeindlichen Entwicklungspfad bewegt, z.B. $w_b = 0, > 0$.¹⁾ Wirtschaftswachstum wirkt also in dem Sinne nicht umweltneutral, wenn es den Schadstoffkoeffizienten wachsen läßt. Die Umweltqualität verschlechtert sich wie in Abb. VII zu erkennen ist, bei einer solchen Konstellation sehr schnell. Erreicht die wirtschaftliche Aktivität die Engpaßgrenze, dann werden unter diesen Bedingungen erhebliche Investitionen in den Umweltsektor notwendig sein, da sich die Wirtschaft in eine falsche Richtung entwickelt hat.

Nimmt der Schadstoffkoeffizient $b(t)$ mit einer konstanten Rate ab, dann wird unter den gegebenen Bedingungen die Umweltrestriktion dann nicht erreicht, wenn

$$w_b \leq -(n+F), \quad (244)$$

Der technische Fortschritt bzw. das Wirtschaftswachstum ist bei einem abnehmenden Schadstoffkoeffizienten definitionsgemäß umweltfreundlich. Außerdem ist das Überschreiten der Umweltrestriktion viel eher durch Umweltinvestitionen vermeidbar als bei einer positiven Veränderungsrate des Schadstoffkoeffizienten²⁾. Die verschiedenen Aussagen der neomalthusianischen und -klassischen Richtung lassen sich somit zum Teil aus den unterstellten Veränderungsdaten erklären. Während die Neoklassiker eher dazu neigen, die Wachstumsbedingungen bei abnehmenden Schadstoffkoeffizienten zu untersuchen, stehen die Anhänger des Club of Rome dem Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität mit größerer Skepsis gegenüber.

1. Vgl. hierzu McCain, Roger, a.a.O., S. 538 ff.
2. Wie aus den neoklassischen Ansätzen zu erkennen ist, verlieren die Umweltinvestitionen bei $w_b < 0$ relativ an Bedeutung, die Pro-Kopf-Belastung kann sinken.

2. Ressourcen

In der neoklassischen Gleichgewichtstheorie wurde davon ausgegangen, daß die Stabilität des Gleichgewichtspfadcs nur dann gegeben ist, wenn

$$w_V = w_Y = n + F. \quad (245)$$

Dieses Gleichgewicht kann auf Dauer nur gewährleistet sein, wenn man unterstellt, daß nicht regenerierbare knappe Rohstoffe stets neu entdeckt werden und der Rohstoffverbrauch aus den neuen Lägern gedeckt werden kann, folglich

$$DR \geq V(t). \quad (246)$$

Geht man davon aus, daß unvollkommene Information herrscht, dann werden immer wieder neue Läger entdeckt werden und es kann durchaus realistisch sein, daß der Verbrauch der Rohstoffe auch noch mittelfristig steigen kann. Die Endlichkeit fossiler Rohstoffe wird allerdings nicht bestritten. Stellt man nun die Hypothese auf, daß der Rohstoffbestand bekannt sei und nicht regenerierbar, dann ist absehbar, wann die Rohstoffe zur Engpaßvariablen der wirtschaftlichen Aktivität werden. Zu einem Engpaß kommt es nur dann nicht, wenn bei

$$\frac{R(0)}{V(0)} = T, \quad 1) \quad (247)$$

sich der Rohstoffkoeffizient wie folgt entwickelt:

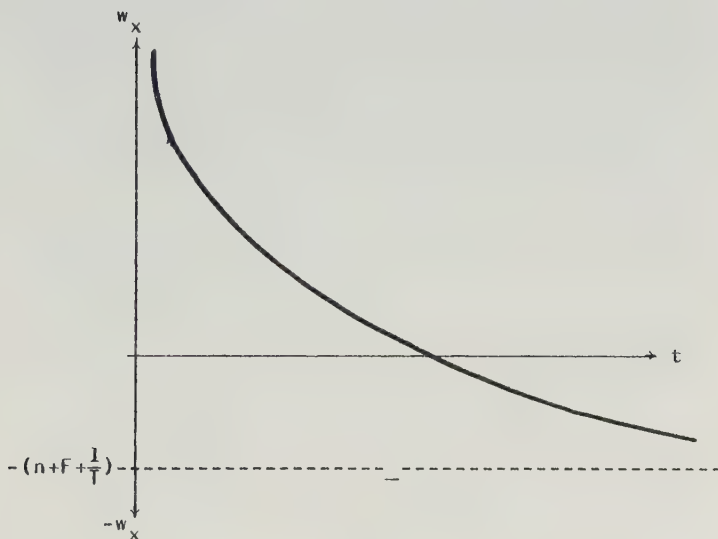
$$w_x \leq -(n+F+\frac{1}{T}). \quad (248)$$

Von solchen Ergebnissen gehen die Neoklassiker aus, wenn sie ihre Gleichgewichtsbedingungen aufstellen.

1. Vgl. Suzuki, Hideo, a.a.O., S. 529 f.. Er ging davon aus, daß die Relation $V(t)/R(t)$ konstant sein muß, wenn die Umweltrestriktion eingehalten werden soll.

Die Anhänger des Club of Rome bezweifeln dagegen in ihrer Mehrzahl, daß solche Senkungen des Rohstoffkoeffizienten $x(t)$ auf Dauer möglich sind.

Je nachdem von welchen konstanten Veränderungsraten man ausgeht, die man also für realistisch hält, stößt man an Engpaßgrenzen wie aus Abb. VIII zu ersehen ist:



3. Resümee

In den meisten Fällen werden konstante Veränderungsraten der Umweltkoeffizienten zu Engpaßsituationen führen. Diese Fortschreibung heutiger Verhältnisse in die Zukunft vernachlässigt Strukturveränderungen, die neue Wege aufzeigen können.

D. Bedingungstheoretische Hypothesen für

----- logarithmische Wachstumsverläufe -----

Bei den Anhängern logarithmischer Wachstumsverläufe im engeren und weiteren Sinne stehen nicht die Wachstumsgrenzen im Mittelpunkt, sondern der Verlauf des Wachstumsprozesses (bzw. Schrumpfungsprozesses), der sich selbst abschwächen sollte.

1. Biologischer Ansatz

Biologen wie Vester¹⁾ sehen das eigentliche Problem nicht in den Wachstumsgrenzen, sondern in der Entfremdung zwischen kreativem Schaffen, menschlichem Denken und den biologischen Gesetzen. Diesen biologischen Gesetzen, welche der Mensch in seinem Handeln nicht beachtet, muß er als biologisches Wesen gehorchen.

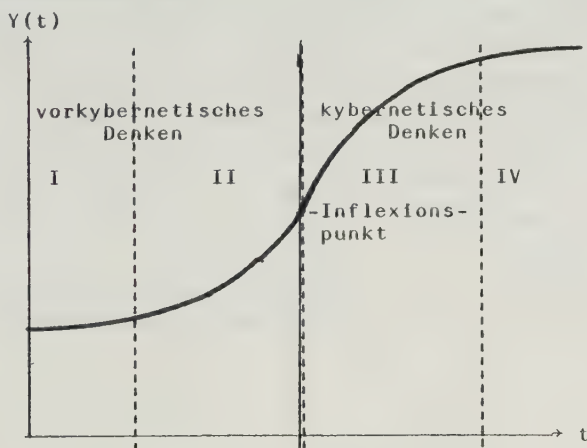
Vester fordert nun, daß der Mensch diese Entfremdung beseitigen müsse, indem er über seinen Verstand die Entwicklung nachvollzieht, welche in der Natur automatisch vonstatten geht. Beispiele für solche logarithmischen Entwicklungspfade in der Natur wären Bakterienvermehrung und Zellenwachstum. Inwieweit allerdings sogenannte natürliche Gesetze in der Ökonomie weiterhelfen, ist fraglich, da in der Natur ohne weiteres auch Beispiele gefunden werden können, die bei der Mehrheit der Menschen als Problemlösungsstrategie keine Chance hätten akzeptiert zu werden²⁾. Näher kommt man allerdings Vesters Ansinnen mit dem zweiten Bericht an den Club of Rome mit Beispielen des organischen Wachstums³⁾. Die Biologen zeichnen sich also dadurch aus, daß sie durch Analogien versuchen, Fachkenntnisse in die

1. Vgl. Vester, Frederic, a.a.O., S. 234 ff. und Ginsburg, Theo, "Exponentielles und logistisches Wachstum", in: Umweltpolitik in Europa, hrsg.v. Horn, C. etc., Frauenfeld 1973, S. 119 ff.

2. Zu nennen wären hier skandinavische Wühlmäuse (Lemmings), die sich aus Existenznot alle 7 Jahre ins Meer stürzen.

3. Vgl. Mesarovic, Mihailo und Pestel Eduard, a.a.O.

Ökonomie zu übertragen, wobei sich allerdings manchmal auch die Fraglichkeit einer strikten Auslegung zeigt. Zellen- und Bakterienwachstum folgen logarithmischen Wachstumsverläufen, die in der ersten Phase über einen stationären Zustand in exponentielles Wachstum übergehen, durchaus mit der Ökonomie vergleichbar. Problematisch ist der sogenannte Inflexionspunkt, bei dem die Natur einen wachstumshemmenden, -abbauenden Prozeß einleitet. Der Mensch werde - so die Analogiebildung - in diesem Stadium die feed-back's seines Handelns zu spüren bekommen, er werde Umdenken lernen müssen, ein kybernetisches Denken setze ein¹⁾. Das, was in der Fauna und Flora Erbinformationen und Instinkt sind, sei beim Menschen sozusagen die historische Erfahrung. Die Entwicklung der wirtschaftlichen Aktivität kann deshalb wie folgt dargestellt werden:



1. Unter kybernetischen Denken soll ein Denken in Kreisläufen verstanden werden. Für jede Maßnahme muß es ein Ferment geben, das diese wieder in den Kreislauf zurückführen kann.

Die stationäre Phase in Abb. IX kann man vor 200 Jahren ansetzen. Die menschliche Zivilisation umspannte noch nicht den ganzen Erdball. Einzelsysteme wie verschiedene Branchen entwickelten sich deshalb unkoordiniert. Die Umwelt als Zwischensystem neutralisierte die anorganischen Vorgänge. Sieht man nun das 20ste Jahrhundert als Übergang zur exponentiellen Phase II an, so reicht die neutralisierende Wirkung der natürlichen Zwischensysteme nicht mehr aus, da schon eine enge Vermaischung der Einzelsysteme stattgefunden hatte. Die Kapazität der Umwelt ließ wegen Überbeanspruchung nach und jeglicher Eingriff wirkte auf die Menschen über Raum und Zeit zurück. Jegliches Handeln wird in Verantwortung gezogen¹⁾. Die Biologen gehen nun weiter davon aus, daß der Mensch durch die sich verstärkenden feed-back-Effekte jeglicher Aktivität sich nicht mehr aus der Verantwortung seines Handelns stehlen kann. Es setzt damit das Denken in Kreisläufen ein.

Das kybernetische Denken führt dann zu einem Abflachen des Wachstums der wirtschaftlichen Aktivität²⁾, da die Einzelmaßnahmen in Einklang mit den Grundprinzipien gebracht werden. Ein sozio-ökonomisch-ökologisches System entsteht. Die Interdependenz, die bisher vorwiegend als ein negatives Element bei feed-back-Effekten auftritt, wird nun über Symbiosen, Recycling genutzt. Das Betrachten des Gesamtwohls ändert die Zielhierarchie. Wirtschaftswachstum wird nicht als das non plus ultra propagiert, sondern hat lediglich Mittelcha-

1. Die Gedanken sind hier allerdings stark idealisiert. Gelten diese Angaben uneingeschränkt, so wäre kein Platz für die verheerenden Krankheits-epidemien der vergangenen Jahrhunderte.
2. Diesem Gedankengang von Vester, a.a.O. folgt der 2. Bericht an den Club of Rome von Mesarovic, a.a.O.

rakter.

"Nicht wir müssen uns nach einem von der Wachstumsindustrie propagierten Energiebedarf richten, sondern der Energiebedarf nach dem für das Gesamtsystem Mensch-Umwelt günstigen Optimum"¹⁾

2. Ökonomischer Ansatz

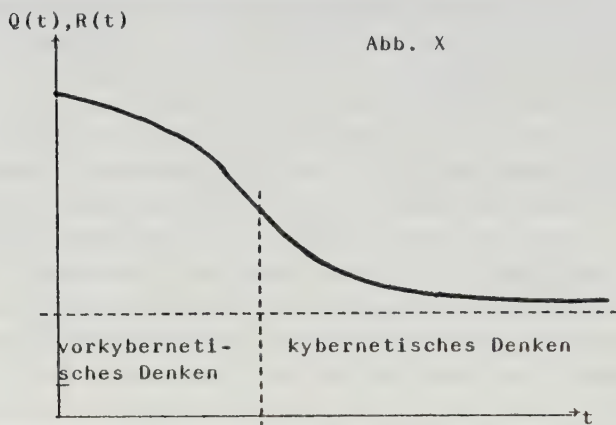
Man kann nun den biologischen Ansatz zu streng in Bezug auf die Zeit und die verlaufsmäßige Symmetrie ansehen. Der Umdenkungsprozeß muß nicht in einem bestimmten Zeitpunkt einsetzen, es ist wahrscheinlicher, daß er einer intertemporalen Verteilung unterliegt. Das Umweltbewußtsein nimmt somit ständig zu. Die Verschlechterung der Umweltqualität wird damit immer weniger von der Gesellschaft toleriert, da in immer mehr Räumen, immer häufiger für immer mehr Personen die Sensibilitätsschwellen überschritten werden²⁾.

Betrachtet man die Rohstoffe, so führten die immensen technologischen Fortschritte im 19ten und 20sten Jahrhundert dazu, daß große Rohstofflager bekannt wurden und auch genutzt werden konnten. Dies führte zu einem starken Anstieg des Rohstoffverbrauchs weltweit. Heute sind bei einigen Rohstoffen Verknappungstendenzen zu beobachten, wodurch deren Preise erheblich ansteigen konnten. Es ist nun denkbar, daß mit zunehmender Häufigkeit solcher Verknappungstendenzen Umdenkungsprozesse einsetzen und der Rohstoffabbau bei nicht regenerierbaren Ressourcen verlangsamt wird³⁾.

Die Zunahme kybernetischer Denkprozesse kann nun wie

1. Vester, Frederic, a.a.O., S. 240
2. So könnte z.B. die Verschlechterung der Wassergüte in Rhein, Main und Mosel gestoppt, wenn auch die Wasserqualität als noch zu niedrig angesehen werden kann. Es wäre interessant, der Frage nachzugehen, inwieweit emissionsintensive Ballungsgebiete die Funktion eines Frühindikators eingenommen hatten und dadurch die Verschmutzung umweltintakter Gebiete verhindert werden konnte.
3. Abnehmenden Rohstoffverbrauch bei einzelnen Stoffen beobachtete Kneschaurek, K.F., Wachstum als Voraussetzung ..., in: Horn, C. etc., a.a.O., S.62ff.

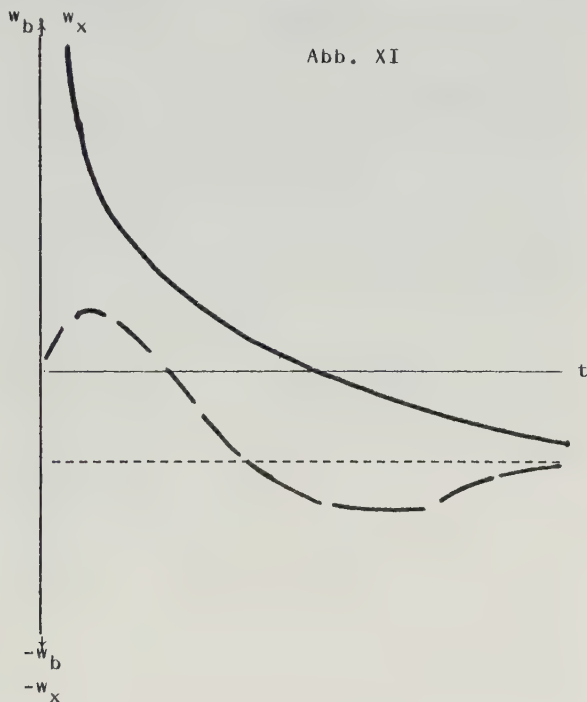
in Abb. X zu folgenden Entwicklungsverläufen bei Umweltqualität und Rohstoffvorrat führen:



3. Resümee

Wie aus Abb. IX und X zu ersehen ist, unterstellen die Verfechter dieser logarithmischen Ansätze, daß auf lange Sicht das Umweltproblem nur zu lösen ist, wenn auch langfristig auf Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität verzichtet wird. Wie in den davorliegenden Kapiteln festgestellt wurde, spricht einiges dafür, daß eine umweltbewußte Ökonomie durch Wachstumseinbußen erkaufte wird. Nicht überzeugend wurde allerdings in den letzten Ansätzen die Frage gelöst, warum Wachstum langfristig nicht möglich sein soll. Es wurde lediglich auf Verhaltensmuster in der Natur hingewiesen. Eine dogmatische Ausrichtung an der Natur ist allerdings wenig hilfreich, da wie bereits erwähnt, nicht alle Verhaltensmuster der Natur anstrebenswert sind. Positiv zu bewerten wäre allerdings, daß indirekt keine konstanten Veränderungsraten der Umweltkoef-

fizienten $b(t)$ und $x(t)$ unterstellt wurde. Da die wirtschaftliche Aktivität langfristig ein bestimmtes Maximalniveau und die Umweltfaktoren Umweltqualität und Rohstoffbestand ein bestimmtes Minimalniveau anstreben werden, ist folgender Wachstumsverlauf der Umweltkoeffizienten $b(t)$ und $x(t)$ denkbar:



Die Wachstumsraten der Umweltkoeffizienten würden danach zuerst zunehmen, sich danach verlangsamen und schließlich sogar negativ werden. Solche Verläufe konnten in der Empirie beobachtet werden¹⁾ und erscheinen auch plausibel, da die erste Phase durch Überfluß und die zweite durch Verknappungserscheinungen gekennzeichnet ist.

1. Vgl. Kneschaurek, K.F., a.a.O., S. 62 ff.

§ 2 Ansatz mit dem Faktor Umweltqualität

A. Annahmen, Hypothesen des Engpaßansatzes

1. Einkommenspfade

a) Es wird angenommen, daß es einen Entwicklungspfad der wirtschaftlichen Aktivität gibt,

$$Y(K) = Y(0)e^{(n+F)t}, \quad (249)$$

der Gleichgewicht zwischen Arbeit und Kapital sichert, wobei das in Effizienzeinheiten gemessen Arbeitspotential $A_e(t)$ mit der Rate $n+F$ sich vermehrt. Dieser geplante Einkommenspfad soll von den Wirtschaftssubjekten angestrebt werden.

b) Diesem geplanten Einkommenspfad $Y(K)$, der dem begrenzten Arbeits- und Kapitalpotential gerecht werden soll, steht die tatsächliche Einkommensentwicklung gegenüber, die unter Umständen von anderen Engpaßvariablen mitbeeinflusst werden kann.

In diesem Ansatz wird nun davon ausgegangen, daß die Umweltqualität zu einer solchen Engpaßvariablen werden kann. Aus diesem Grund wird nun ein zweiter Einkommenspfad entwickelt, der das maximal mögliche Einkommen angibt, daß in jeder Periode aufgrund der maximal möglichen Emission $PA(t)$ und der Assimilationskapazität A bei einem bestimmten Schadstoffkoeffizienten $b(t)$ möglich ist,

$$Y(Q) = \frac{PA(t) + A}{b(t)}. \quad (250)$$

c) Unterstellt man nun, daß die Substitutionsfähigkeit der Wirtschaft auf kurze Frist vernachlässigend gering sei, dann wird das tatsächliche Einkommen durch den minimalen Einkommenspfad bestimmt,

$$Y(t) = \min\{Y(K); Y(Q)\}. \quad (251)$$

Die Substitutionsfähigkeit unter den Produktionsfaktoren wird allerdings, wie noch später zu sehen sein wird, auf mittlere und lange Sicht nicht in Frage gestellt.

2. Angebot an Emissionen $PA(t)$

Für die Festlegung von $Y(Q)$ ist es notwendig, die maximal möglichen Emissionen $PA(t)$ zu bestimmen.

a) Wie hoch das maximal mögliche Angebot an Emissionen $PA(t)$ ist, hängt u.a. von den Mindestumweltqualitätsvorstellungen $Q^*(t)$ einer Gesellschaft ab. Diese wiederum werden aufgrund egoistischer Motive, so lautet die Hypothese, gebildet, da jede Generation an ihrem Überleben unter menschenwürdigen Umweltqualitätsverhältnissen interessiert ist. Die Umweltqualität darf deshalb innerhalb eines bestimmten Zeitraums, welcher mit T bezeichnet wird, nicht unter das Niveau $Q_{\min}$ absinken. Die heute dominierende Generation ($t = 0$) würde dann die Mindestumweltqualitätsvorstellungen wie folgt sinken lassen:

$$DQ^* = - \frac{Q(0) - Q_{\min}}{T} = -P^*(0). \quad (252)$$

Da sich jedoch die Generationen ständig abwechseln, wird der Zeithorizont T ständig in die Zukunft geschoben und DQ^* nimmt mit der Rate $\frac{1}{T}$ absolut ab,

$$DQ^* = - P^*(0) \exp\left(-\frac{1}{T}t\right). \quad (253)$$

Die Mindestvorstellungen $Q^*(t)$ werden damit asymptotisch $Q_{\min}$ angenähert.

Es wird ferner unterstellt, daß eine Umweltbehörde das Absinken der Umweltqualität unter $Q^*(t)$ verhindern kann. Die Einhaltung dieser zeitabhängigen Mindestrestriktionen $Q^*(t)$ kann einmal mit Emissionszertifikaten erreicht werden, die pro Periode ausgegeben werden ¹⁾ und von Periode zu Periode um eine bestimmte Rate reduziert werden. Nicht verbrauchte Zertifikate dürften dann allerdings bei der obigen Politik nicht verfallen, wären kumulierbar und somit später verwendbar. Weiterhin dürften benutzte Zertifikate nicht total entwertet werden, sondern müßten der Tatsache Rechnung tragen, daß sich die Immissionen abbauen mit der Rate d .

Es wäre auch eine Emissionssteuer denkbar. Anfänglich wäre diese Steuer dann noch nicht notwendig, da die Qualitätsminima nicht unterschritten werden. Diese geringe Bewertung der Emissionen läßt die Nachfrage nach Emissionen $EN(t)$ stark ansteigen bis $Q^*(t)$ unterschritten zu werden droht. Die Emissionssteuer muß dann in dieser Phase sehr stark erhöht werden. Die Umweltqualität wird somit innerhalb kurzer Zeit zu einer immensen Kostenbelastung der Wirtschaft, ohne daß diese innerhalb dieser kurzen Zeitspanne ausweichen kann ²⁾.

b) Tatsächliches Angebot $PA(t)$ und zugebilligtes Angebot $P^*(t)$ entfernen sich allerdings dann immer weiter von einander, wenn die Umweltqualitätsminima $Q^*(t)$ schneller nach unten korrigiert werden als der eigentliche Verbrauch Umweltqualität $P(t)$ ist.

-
1. Hier wäre somit der Ansatz von Baumol, William J., a.a.O., S. 42 ff. anwendbar, wenn auch dieser Ansatz in seiner Praktikabilität in der Literatur als noch nicht mangelfrei gilt.
 2. Vgl. hierzu die Problematik der Festlegung des richtigen Preises bei Stiglitz, Joseph, "The competitiv Economy", a.a.O., S. 151

Solange nun die Wirtschaft ihren pro Periode zugestandenen Spielraum nicht voll ausnutzt, steigt das tatsächliche Angebot $PA(t)$ an,

$$PA(t) = P(t)\{1+d\} + \int_0^t \{P^*(s)-P(s)\}ds. \quad (254)$$

GG.(254) hat seine Gültigkeit für

$$PA(t) > PN(t) = P(t), \quad (255)$$

wobei die gewollte und die tatsächliche Emission von Schadstoffen übereinstimmt. Das tatsächliche Angebot an Emissionen $PA(t)$ hat dann sein Maximum erreicht, wenn die Nachfrage nach Emissionen $PN(t)$ auf $P^*(t)$ angestiegen ist. Sobald die Nachfrage $PN(t)$ größer bzw. gleich dem Angebot $PA(t)$ wird, gilt folgende Gleichung:

$$PA(t) = P^*(t) + dP(t), \text{ bzw. } \quad (256)$$

$$PA(t) = \frac{P^*(t)}{1-d},$$

$$\text{da } PN(t) > PA(t) = P(t). \quad (257)$$

Die Nachfrage nach Emissionszertifikaten $PN(t)$ kann bei dieser Konstellation nicht mehr voll befriedigt werden.

3). Der Bedarf, die Nachfrage nach Emissionseinheiten $PN(t)$ hängt nun ihrerseits vom Niveau der wirtschaftlichen Aktivität $Y(t)$, der Selbstreinigungskraft der Natur A und dem Verschmutzungskoeffizienten $b(t)$ ab,

$$PN(t) = b(t)Y(t) - A.1) \quad (258)$$

In der Realität gibt es natürlich nicht nur einen Schadstoffkoeffizienten, sondern vermutlich genauso viele wie Emissionsstoffe. Daraus entstehen Komplikationen durch das Ineinanderwirken dieser Stoffe, was hier allerdings nicht behandelt werden soll. Analoge Überlegungen müssen bei der Assimilationskapazität getroffen werden, die in der Realität auch heterogen ist, verschieden für die Umweltmedien und im Hinblick auf Raum und Zeit. Hohe Schadstoffkoeffizienten galten immer als Indiz für einen Industriestaat, niedrige für ein Entwicklungsland. So ist z.B. der Müll der Großstadt Kalkutta ca. 10 % des Mülls einer in der Größe vergleichbaren westlichen Stadt. Außerdem sind dort die Emissionen weitgehend organischer Natur. Es kann allerdings sein, daß im Laufe der Entwicklung sich diese Relation umdreht. Erfolgreiche Umweltschutzmaßnahmen in den Industrieländern und stark ansteigende Verschmutzung in den Entwicklungsländern können dazu führen, daß bei einem bestimmten Entwicklungsgrad der Länder der Dritten Welt sich die Relation umdreht. Vieles spricht dafür, da diese Länder andere noch dringendere Probleme zu bewältigen haben²⁾. Ein hoher Schadstoffkoeffizient $b(t)$ muß folglich nicht unbedingt mit einer hohen wirtschaftlichen Aktivität $Y(t)$ gekoppelt sein.

4. Die Emissionen $P(t)$

Beachtet man die Gleichungen (255) und (258), so steigt die Verschmutzung $P(t)$ stärker als das Volkseinkommen an, wenn die Emissionen die Aufnahmefä-

1. Siehe hierzu die neoklassischen und postkeynesianischen Ansätze.

2. Vgl. Schimmang, Wolf, a.a.O., S. 125 ff.

higkeit der Umwelt A übersteigen. Dies gilt auch, wenn der Schadstoffkoeffizient konstant ist. Der Verschmutzungsauftrieb wird erst dann verhindert, wenn $PA(t)$ vollkommen verbraucht wird und damit die Gleichungen (256) und (257) in Kraft treten. Die Wirtschaftssubjekte wollen dann zwar mehr Emissionen abgeben als sie dies können und sind durch die Umweltpolitik gezwungen, ihre Emissionen an P^* auszurichten, es sei denn, die Gesellschaft korrigiert ihre Mindestqualitätsvorstellungen und ihren Zeithorizont nach unten. Die Mindestumweltqualität kann dabei ein objektives Niveau sein, z.B. der Sauerstoffgehalt im Wasser, der ein Überleben der Fische ermöglicht oder bei dem man noch schwimmen kann etc.. Die Auswahl dieser objektiven Minima ist allerdings dann subjektiv.

Es wäre nun auch möglich, daß eine Aufklärungswelle die Mindestvorstellungen nach oben korrigiert, wodurch die staatlich geplante Verbrauchsquote $P^*(t)$ verstärkt zurückgehen würde.

Es kann nun zusammenfassend festgestellt werden, daß in der ersten Phase, die Verschmutzung von den Plänen der Wirtschaftssubjekte und in der zweiten Phase von der Umweltpolitik abhängt.

5. Der Schadstoffkoeffizient $b(t)$

Wenn nun die Verschmutzung $P(t)$ langfristig $P^*(t)$ folgen muß, dann hat die Entwicklung des Schadstoffkoeffizienten eine Schlüsselfunktion für die Entwicklung der wirtschaftlichen Aktivität, wie aus GG. (258) zu ersehen ist.

Es wird nun von der Hypothese ausgegangen, daß das Verhältnis von $Y(Q)$ und $Y(K)$ zueinander von wesentlicher Bedeutung für die Entwicklung des Schadstoffkoeffizienten ist¹⁾.

1. $Y(K)$ wurde als der Gleichgewichtspfad zwischen Arbeit und Kapital und $Y(Q)$ als das aufgrund der Umweltqualität $Q^*(t)$ mögliche Einkommen definiert.

Exogene Änderungen des Schadstoffkoeffizienten $b(t)$, die z.B. auf Klima, seismologische Vorgänge, Jahreszeiten, verändertes Umweltbewußtsein von Industrie und Bevölkerung, große Unglücksfälle u.ä. zurückzuführen sind, sollen vernachlässigt werden. Analog soll von exogenen Strukturverschiebungen, z.B. der umweltfreundlichere Dienstleistungssektor dehnt sich aus, abgesehen werden. Die Veränderung des Schadstoffkoeffizienten wird nun wie folgt angenommen:

$$Db = b(t) \cdot \varepsilon \cdot \ln \left(\frac{Y(Q)}{Y(K)} \right), \quad (259)$$

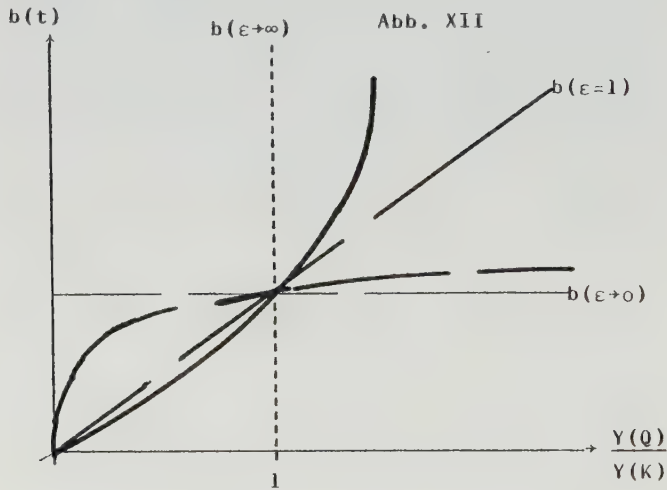
wobei ε einen Flexibilitätsindex der Wirtschaftssubjekte darstellt. Stimmen nun in einem Zeitpunkt t die Einkommen $Y(Q)$ und $Y(K)$ überein, so wird es nach der Hypothese (259) nicht zu einer Veränderung des Schadstoffkoeffizienten kommen. Geht man allerdings davon aus, daß das aufgrund von $Q^*(t)$ mögliche Einkommen größer als das von den Wirtschaftssubjekten angestrebte Einkommen $Y(K)$ ist, dann führt der relative Überfluß des Umweltfaktors Umweltqualität dazu, daß die wirtschaftliche Aktivität verschmutzungsintensiver wird und der Schadstoffkoeffizient $b(t)$ ansteigt. Der Faktor Umweltqualität spielt damit in der Kostenrechnung der Wirtschaftssubjekte nur eine untergeordnete Rolle. Dies ändert sich dann, wenn die Wirtschaftssubjekte durch die Einhaltung von $Q^*(t)$ daran gehindert werden, $Y(K)$ zu erreichen. $Y(Q)$ ist damit kleiner als $Y(K)$. Die Wirtschaftssubjekte werden nun versuchen, ihren Plänen nachzukommen, indem sie die Umweltabhängigkeit der wirtschaftlichen Aktivität vermindern

und damit $b(t)$ kleiner wird. Sobald also die Umweltqualität zum Engpaßfaktor der wirtschaftlichen Aktivität wird, werden - so die Hypothese - die Wirtschaftsobjekte versuchen, den Schadstoffkoeffizienten zu senken. Umgekehrt wird ein relativ freier Faktor Umweltqualität dazu führen, daß der Schadstoffkoeffizient ansteigt. Inwieweit sich der Schadstoffkoeffizient nun ändern kann, hängt allerdings nicht nur von der Relation $Y(Q)$ und $Y(K)$ ab, sondern auch von der Flexibilität der Wirtschaftssubjekte, sich veränderten wirtschaftlichen Situationen anzupassen. Die Flexibilität ihrerseits wird durch die Bereitschaft der Wirtschaftsobjekte für Veränderungen, die Substitutionsmöglichkeiten und den technischen Fortschritt beeinflußt. Geht man davon aus, daß der Flexibilitätsindex ϵ gleich null ist, dann würden die Wirtschaftsobjekte total unfähig sein, sich den veränderten Gegebenheiten anzupassen. Dies hat bei einer Umweltqualität als relativ freiem Gut den Vorteil, daß die Umweltgüte erst viel später als bei $\epsilon > 0$ zum Engpaßfaktor der wirtschaftlichen Aktivität wird, andererseits mit der eintretenden Engpaßsituation werden dann die Möglichkeiten der wirtschaftlichen Aktivität stark eingeschränkt, da der Schadstoffkoeffizient starr ist. Je größer nun der Flexibilitätsindex ϵ ist, desto größer werden die Veränderungen des Schadstoffkoeffizienten $b(t)$ sein, wenn von

$$\frac{Y(Q)}{Y(K)} = 1 \quad (260)$$

abgewichen wird. Dies soll in Abb. XII verdeut-

licht werden.



Strebt nun ϵ im Extremfall gegen unendlich, dann verliert der Faktor Umweltqualität für die wirtschaftliche Aktivität an Bedeutung, da infinitesimale Abweichungen von GG. (260) zu immensen Veränderungen bei $b(t)$ führen, so daß GG. (260) gewahrt bleibt. Man kommt dann zu Ergebnissen wie sie in den nichtmodifizierten neoklassischen Ansätzen vorlagen.

B. Ableitungen und Finalgleichungen

1. Verlauf von $P^*(t)$ ¹⁾

Wie bereits erwähnt, reduziert eine Umweltbehörde ständig $Q^*(t)$ im Zeitablauf bis schließlich $Q_{\min}$ erreicht ist. Dies veranlaßt sie, ohne auf wirtschaftliche Prozesse Rücksicht zu nehmen. Dabei gilt folgende Beziehung:

$$DQ^* = -P^*, \quad (261)$$

$$Q^*(0) = Q(0). \quad (262)$$

Wenn nun $Q_{\min}$ und T als konstant angenommen werden, verändern sich die von der Umweltbehörde in einem Zeitpunkt t neu zugestandenen Emissionskontingente P^* wie folgt:

$$DP^* = \frac{1}{T} DQ^*. \quad (263)$$

Unter Berücksichtigung von GG.(261) ergibt sich dann

$$DP^* = -\frac{1}{T} P^*(t), \text{ bzw.} \quad (264)$$

$$P^*(t) = P^*(0) \exp\left(-\frac{1}{T}t\right). \quad (265)$$

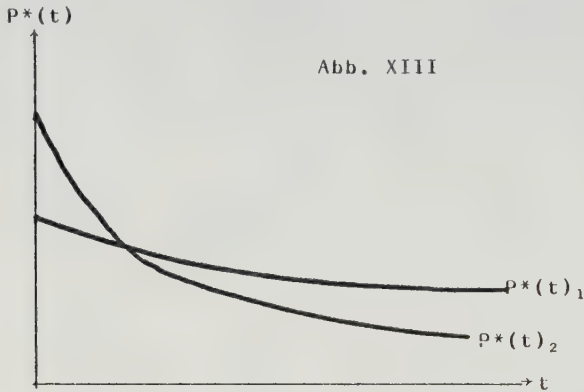
Berücksichtigt man nun GG.(252), dann folgt

$$P^*(t) = \frac{Q(0) - Q_{\min}}{T} \exp\left(-\frac{1}{T}t\right). \quad (266)$$

Wie zu ersehen ist, werden die zugestandenen Emis-

1. Suzuki, Hideo, a.a.O., hatte sinngemäß unterstellt $DT = 0$, wenn gleichgewichtiges Wachstum gelten soll. GG. (265) würde folglich seinen Gedankengängen entsprechen, wobei allerdings zu beachten ist, daß Suzuki sich mit Rohstoffen beschäftigte und auch sinngemäß GG. (265) nicht ableitete.

sionskontingente in $t = 0$ umso größer ausfallen, je kleiner T ist. Die Kontingente werden allerdings dann auch umso stärker sinken, je größer T ist, was aus Abb. XIII hervorgeht:



2. Verlauf der staatlich garantierten Umweltqualität $Q^*(t)$

Da

$$P^*(t) = \frac{Q^*(t) - Q_{\min}}{T}, \text{ folgt} \quad (267)$$

$$Q^*(t) = Q_{\min} + T \cdot P^*(t). \quad (268)$$

Unter Beachtung von GG.(261) und (266) ergibt sich dann

$$Q^*(t) = Q_{\min} + \{Q(0) - Q_{\min}\} \exp -\frac{1}{T}t). \quad (269)$$

$Q^*(t)$ hat dabei zwei Grenzwerte:

$$\lim_{t \rightarrow 0} Q^*(t) = Q(0), \quad (270)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Q^*(t) = Q_{\min}. \quad (271)$$

$Q^*(t)$ strebt damit mit t gegen unendlich gegen einen bestimmten Minimalwert $Q_{\min}$. Errechnet man die Wachstumsrate für $Q^*(t)$, dann folgt unter Berücksichtigung von GG.(261), (265) und (269)

$$\begin{aligned} w_{Q^*} &= - \frac{P^*(t)}{Q_{\min} + IP^*(t)}, \\ &= - \frac{1}{T + \frac{Q_{\min}}{P^*(0)} \cdot \exp(\frac{1}{T}t)}. \end{aligned} \quad (272)$$

Man erhält nun folgende Grenzwerte:

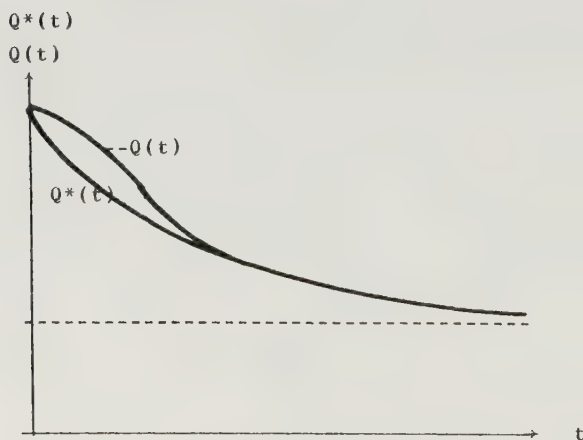
$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow 0} w_{Q^*} &= - \frac{1}{T + \frac{Q_{\min}}{P^*(0)}}, \\ &= - \frac{1}{T} (1 - \frac{Q_{\min}}{Q(0)}), \end{aligned} \quad (273)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} w_{Q^*} = 0. \quad (274)$$

Die Mindestumweltqualität $Q^*(t)$ nimmt also in immer kleineren Raten ab und nähert sich damit asymptotisch dem Grenzwert $Q_{\min}$.

Wie aus Abb. XIV zu ersehen ist, verkleinern sich die negativen Wachstumsraten absolut gesehen. Die Steigung bleibt deshalb nicht konstant, sondern nimmt ständig ab. Dagegen wird die negative Steigung der tatsächlichen Umweltqualität zuerst absolut größer sein als die geplante Rate. Dies führt dazu, daß die Kurven aufeinanderzustreben, allerdings darf es zu keinem Schnittpunkt kommen, wenn der Staat seine Mindestumweltniveaus verteidigt:

Abb. XIV



3. Gewollte Abgabe an Emissionsstoffen (=Emissionsnachfrage) $PN(t)$

Leitet man nun GG. (258) nach der Zeit ab, dann folgt

$$DPN = \{w_b + w_y\}b(t)Y(t) - DA, \quad (275)$$

wobei $DA = 0$.

Da die Wirtschaftssubjekte den Einkommenspfad (249) anstreben, ergibt sich folgende Wachstums-

rate:

$$w_{PN} = \frac{\{w_b + n + F\}b(t)Y(t)}{b(t)Y(t) - A}, \quad (276)$$

$$= \frac{w_b + n + F}{1 - \frac{A}{b(t)Y(t)}},$$

$$= \{w_b + n + F\} \frac{1}{1 - \frac{Ae^{-(n+F)t}}{Y(0)b(t)}}.$$

Solange nun

$$-(n+F) < w_b, \quad (277)$$

ergeben sich folgende Grenzwerte für die Wachstumsrate von w_{PN} :

$$\lim_{\substack{t \rightarrow \infty \\ -(n+F) < w_b}} w_{PN} = n + F + w_b, \quad (278)$$

$$\lim_{\substack{t \rightarrow 0 \\ A=b(0)Y(0)}} w_{PN} \rightarrow \infty. \quad (279)$$

Wie aus GG. (279) ersehen werden kann, wird die geplante Abgabe von Emissionen durch die Wirtschaftssubjekte anfangs stark ansteigen, da in $t = 0$ die Umwelt die Emissionen noch vollkommen assimilieren konnte und damit die Verschmutzung null war. Die Wachstumsrate schwächt sich allerdings auf den in GG. (278) angegebenen Wert ab, solange der Schad-

stoffkoeffizient ansteigt oder solange durch einen sinkenden Schadstoffkoeffizient, die Verschmutzung aus dem Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität nicht aufgefangen werden kann. Gelingt es, die wachstumsinduzierte Verschmutzung durch Schadstoffkoeffizientensenkung aufzufangen, dann ist die Wachstumsrate $w_{PN} = 0$. Nimmt man ferner an, daß

$$w_b < -(n+F), \quad (280)$$

dann sinkt die Wachstumsrate w_{PN} auf folgenden Grenzwert:

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} w_{PN} &\rightarrow -\infty, & (281) \\ w_b &< -(n+F) \\ t &\rightarrow \infty \\ A &\leq b(t)Y(t) \end{aligned}$$

wobei von GG.(276) ausgegangen werden kann. Die Nachfrage $PN(t)$ steigt damit anfangs stark an, der Anstieg schwächt sich immer mehr ab, bis die geplante Verschmutzung $PN(t)$ ihr Maximum erreicht. Dann wird $PN(t)$ abgebaut, wobei sich die Abbaurrate ständig vergrößert. Dies geschieht dann, wenn w_b unter den Wert $-(n+F)$ sinkt. Unter Beachtung von GG. (258) kann nun der Entwicklungspfad von $PN(t)$ wie folgt beschrieben werden:

$$PN(t) = A \left\{ \exp\{(n+F)t\} + \exp\left\{\int_0^t w_b(\tau) d\tau\right\} - 1 \right\},$$

$$\text{da in } t = 0 \quad A = b(0)Y(0). \quad (282)$$

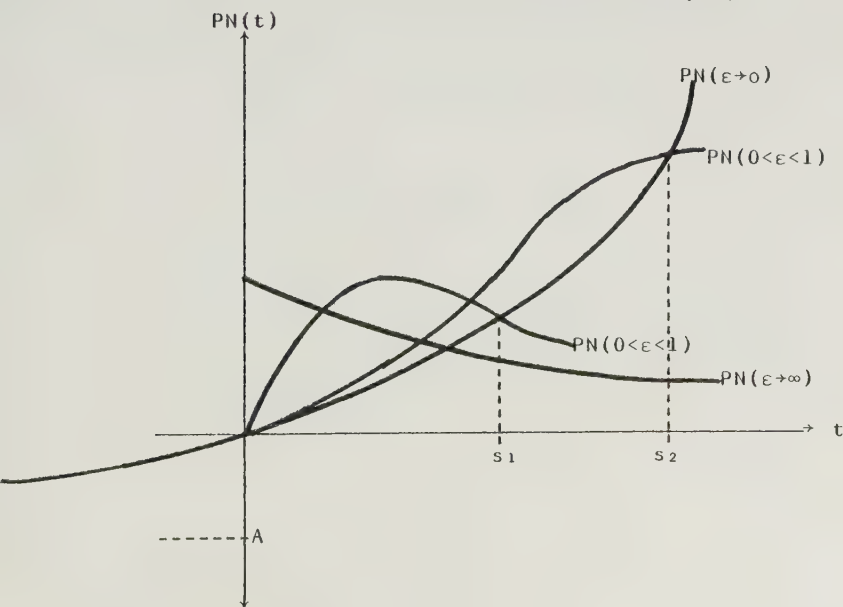
Da nun für w_b die Hypothese (259) gilt, werden die Wirtschaftssubjekte ihre Emissionspläne $PN(t)$ umso schneller an die umweltpolitischen Gegebenheiten anpassen, je größer ihre Flexibilität ist. Dies wird durch folgende Grenzwerte deutlich:

$$\lim_{\substack{t \rightarrow \infty \\ \varepsilon \rightarrow 0}} PN(t) = A \left\{ \exp\{(n+F)t\} - 1 \right\}, \quad (283)$$

$$\lim_{\substack{t \rightarrow \infty \\ \varepsilon \rightarrow \infty}} PN(t) = \frac{P^*(0)}{1-d} \exp\left\{-\frac{1}{T}t\right\}. \quad (284)$$

GG.(284) ergibt sich dadurch, daß bereits in $t = 0$ die Wirtschaftssubjekte ihre Emissionspläne dem herrschenden Angebot $PA(t)$ anpassen, bedingt durch ihre hohe Flexibilität. Damit trifft GG.(256) zu. Diese beiden Grenzwerte werden nun in Abb. XV eingetragen:

Abb. XV



Verfolgt man die Verläufe von $PN(t)$ in Abb. XV, dann erkennt man, daß es für die Wirtschaftssubjekte umso schwieriger wird, ihren Schadstoffkoeffizienten auf das Ausgangsniveau $b(t) = b(0)$ zu senken, je inflexibler sie sind. $b(0)$ wird dann erreicht, wenn der zweite Term in GG. (282) null wird, was umso länger dauert, je kleiner ε ist. Die Zeitpunkte, die angeben, wann dies der Fall ist, sind mit s_1 und s_2 gekennzeichnet. Je unfähiger die Wirtschaftssubjekte sind, ihre Emissionspläne den Emissionsvorschriften anzupassen, desto weiter werden sie auf lange Sicht von ihren Einkommensplänen abgedrängt.

4. Verlauf von $PA(t)$

Der Verlauf von $PA(t)$ wurde bereits durch die Gleichungen (254) und (256) gekennzeichnet. Das Angebot $PA(t)$ wird dann größer, wenn die Neukontingente P^* größer sind als die Emissionspläne der Wirtschaftssubjekte und vice versa:

$$DPA \geq 0, \text{ für } PN(t) \leq P^*(t). \quad (285)$$

Ferner gilt

$$PA(t) \geq \frac{P^*(t)}{1 - d}, \text{ solange } PA \geq PN. \quad (286)$$

Da $P^*(t)$ jedoch abnimmt und $PN(t)$ in der ersten Phase zunimmt, nähert sich $PA(t)$ dem Wert in GG. (286) an.

5. Entwicklungspfad des Volkseinkommens $Y(t)$

Die Volkseinkommensentwicklung kann in drei Phasen dargestellt werden:

a) In der ersten Phase können die Wirtschaftssubjekte Einkommens- wie auch Emissionspläne verwirklichen, da mehr emissioniert werden kann als von den Wirtschaftssubjekten geplant wurde. Es gilt deshalb

für $t = s$ und $PN(t) = PA(t)$

$$Y(t) = Y(K) = Y(0)e^{(n+F)t}. \quad (287)$$

Dieser geplante Einkommenspfad wird umso schneller verlassen, s ist also umso kleiner, je größer die Flexibilität der Wirtschaftssubjekte ist, da eine hohe Flexibilität bedeutet, daß die Wirtschaftssubjekte in der Lage sind, ihre Emissionspläne sehr schnell dem Emissionsangebot anzupassen.

b) Die zweite Phase kann als Übergangsphase bezeichnet werden und sei wie folgt definiert:

$$Y(t) \leq Y(s) \equiv Y(z+s) \text{ für den Zeitraum } z,$$

$$s \leq t \leq s+z. \quad (288)$$

Der Zeitraum z wird nun umso kürzer, je schneller es den Wirtschaftssubjekten gelingt, der Verknappung der Umweltqualität zu entgehen. Dies ist dann möglich, wenn sie ihre Emissionspläne durch entsprechende Schadstoffkoeffizientensenkung nach unten korrigieren können.

c) Mit t gegen unendlich, strebt jedoch die wirtschaftliche Aktivität einen Entwicklungspfad an, indem der Verschmutzungszuwachs durch Wirtschaftswachstum durch Senkungen des Schadstoffkoeffizienten kompensiert wird, da langfristig gelten muß

$$A = b(t)Y(t). \quad (289)$$

Die Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität muß auf diesem Pfad der Abbaurates des Schadstoffkoeffizienten $b(t)$ entsprechen. Unter Berücksichtigung der Hypothese (259) gilt dann

$$w_b = \epsilon \ln \left(\frac{Y(Q)}{Y(K)} \right) \stackrel{!}{=} -(n+F), \quad (290)$$

$$\ln \left(\frac{Y(Q)}{Y(K)} \right) = \frac{-(n+F)}{\epsilon},$$

$$\frac{Y(Q)}{Y(K)} = \exp \left(- \frac{n+F}{\epsilon} \right).$$

Beachtet man nun GG. (249) und (251), dann folgt

$$\begin{aligned} Y(t) &= Y(Q) = Y(K) \exp \left(- \frac{n+F}{\epsilon} \right), \\ &= Y(0) \exp \left\{ (n+F) \left(t - \frac{1}{\epsilon} \right) \right\}. \end{aligned} \quad (291)$$

Dieser Entwicklungspfad der wirtschaftlichen Aktivität wird dann langfristig erreicht werden können.

C. Resümee

1. Die Wirtschaftssubjekte können solange dem Gleichgewichtspfad $Y(K)$ folgen, wie die Umweltqualität noch ein relativ freier Faktor ist.

2. Sobald nun die Umweltqualität zum Engpaßfaktor der wirtschaftlichen Aktivität wird, kann sich $Y(t)$ nicht mehr auf dem Gleichgewichtspfad $Y(K)$ bewegen. Dies ist in $t = s$ eingetreten.

3. Die Umstellungen innerhalb der Volkswirtschaft, so kann die Zwischenphase ökonomisch interpretiert werden, verursachen für die Zeitspanne z , daß sich das Volkseinkommen $Y(t)$ unterhalb $Y(s)=Y(s+z)$ bewegt.

4. Nach der Zwischenphase bzw. Umstellungsphase strebt die wirtschaftliche Aktivität einen Parallelpfad zum ursprünglichen Gleichgewichtspfad an, dem sie sich asymptotisch nähert. Geplanter und tatsächlicher Wachstumspfad fallen nach Eintreten des akuten Engpasses nicht mehr zusammen, es sei denn, es trete ein Grenzfall ein mit einer Flexibilität der Wirtschaftssubjekte, die gegen unendlich strebt. Dieser Grenzfall wäre dann mit neoklassischen Ergebnissen vergleichbar.

Ein Parallelpfad kommt auch in der konträren Extremsituation nicht zustande, wenn $\epsilon = 0$. Die wirtschaftliche Aktivität fällt dann zurück auf ihr Ausgangsniveau, da der Schadstoffkoeffizient $b(t) = b(0)$ konstant ist und langfristig alle Emissionen vollkommen assimiliert werden müssen. Dieser Grenzfall wäre dann mit neomalthusianischen Ergebnissen vergleichbar.

Von absoluter Stabilität des Gleichgewichtspfades $Y(K)$ kann somit nicht mehr gesprochen werden. Da allerdings i.d.R. ein Parallelpfad angestrebt wird, ist eine relative Stabilität des Gleichgewichtspfades gegeben.

5. Der Gleichgewichtspfad $Y(K)$ ist somit relativ stabil, wenn

$$0 < \varepsilon < \infty. \quad (292)$$

Je kleiner die Flexibilität allerdings ist, desto weiter ist, wenn man GG.(291) betrachtet, der Parallelpfad vom Gleichgewichtspfad entfernt und desto geringer wird die relative Stabilität von $Y(K)$. Setzt man den Flexibilitätsindex $\varepsilon = 10$, dann folgt $Y(t)$ dem Gleichgewichtspfad langfristig nur mit einem Lag von 0,1 Perioden. Bei einer geringen Flexibilität, $\varepsilon = 0,05$, ist der langfristige Lag 20 Perioden.

6. Schlüsselgröße dieses Ansatzes ist die Flexibilität der Wirtschaftssubjekte. Sie entscheidet darüber, inwieweit es den Wirtschaftssubjekten gelingt, ihre Emissionspläne an den staatlichen Umweltplänen zu orientieren und damit weitgehend ihre Einkommenspläne realisieren zu können.

7. Es wurde unterstellt, daß je größer die Diskrepanz zwischen geplanten und tatsächlichen Entwicklungspfad ist, desto stärker der Anreiz wird, den Schadstoffkoeffizienten zu senken. Dies kann dadurch verursacht sein, daß diese Diskrepanz zwischen den Einkommenspfaden einen Kostendruck bei emissionswilligen Wirtschaftssubjekten hervorruft, andererseits der Gewinnanreiz zur Herstellung von und Produktion mit umweltfreundlicher Technologie zunimmt.

D. Zahlenbeispiele

Um die zuvor genannten Ergebnisse zu verdeutlichen, werden Beispiele durchgespielt mit verschiedenen Flexibilitäten.

1. Es wird angenommen, daß

$$P^*(0) = 400 \text{ und} \quad (293)$$

$$T = 10. \quad (294)$$

Daraus folgt

$$P^*(t) = 400 \exp(-0,1t). \quad (295)$$

Ferner gelte

$$Y(0) = 1000, \quad (296)$$

$$A = 200, \quad (297)$$

$$b(0) = 0,2, \quad (298)$$

$$d = 0,2 \text{ und} \quad (299)$$

$$n+F = 0,05. \quad (300)$$

Die Wirtschaftssubjekte planen folgende Mengen an Emissionen abzulassen:

$$\begin{aligned} PN(t) &= 200 \left\{ \exp(0,05t) + \exp \left[\int_{\tau=0}^t w_b(\tau) d\tau \right] - 1 \right\}, \\ &= b(t) \cdot 1000 \exp(0,05t) - 200. \end{aligned} \quad (301)$$

Der Schadstoffkoeffizient wird nun wie folgt geschätzt:

$$\hat{b}(t) = \hat{b}(t-1) \exp \left\{ \varepsilon \ln \left[\frac{Y\{\hat{Q}(t-1)\}}{Y\{\hat{K}(t-1)\}} \right] \right\}. \quad (302)$$

Das geschätzte Angebot an Emissionen kann wie folgt mathematisch dargestellt werden:

$$\hat{P}A = P^*(t) + \hat{P}A(t-1) - \hat{P}N(t-1) + d\hat{P}(t-1). \quad (303)$$

t	P*(t)		PN(t)		PA(t)		b(t)		Y(t)	
	$\epsilon = 0$	$\epsilon = 1$	$\epsilon = 0$	$\epsilon = 1$	$\epsilon = 0$	$\epsilon = 1$	$\epsilon = 0$	$\epsilon = 1$	$\epsilon = 0$	$\epsilon = 1$
0	400	0	0	0	400	400	0,2000	0,2000	1000	1000
1	362	10	164	431	762	762	0,3464	0,6000	1051	1051
2	327	21	422	811	1081	958	0,5630	0,9150	1106	1032
3	296	32	692	793	1361	917	0,7681	0,8549	1162	755
4	268	44	849	478	1603	631	0,8592	0,5554	1221	1003
5	243	57	728	386	1810	369	0,7228	0,4562	1284	1127
6	220	70	564	340	1984	293	0,5659	0,4003	1350	1205
7	199	84	457	307	2127	257	0,4628	0,3573	1419	1273
8	180	98	376	278	2240	231	0,3862	0,3207	1492	1343
9	163	114	324	253	2324	209	0,3341	0,2887	1568	1416
10	147	130	287	230	2380	189	0,2951	0,2607	1649	1492
11	133	147	257	209	2407	171	0,2639	0,2359	1733	1573
12	120	164	233	190	2412	155	0,2376	0,2140	1822	1657
13		184			2390					
23		432			767				3158	
24		464			457				3290	
25		498			124				1622	
26		534			55				1273	

3. Verlauf von $PN(t)$

Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, steigt die Nachfrage nach Emissionen bei einer Flexibilität $\varepsilon=0$ schwächer an als bei höheren Flexibilitäten. So fragen die Wirtschaftssubjekte bei einer Flexibilität $\varepsilon=0$ die gleichen Emissionseinheiten in der Periode $t = 12$ bzw. $t = 23$ nach, wie dies bei $\varepsilon = 0,5$, bzw. $\varepsilon = 1$ in der Periode $t = 1$ vorkommen würde. Dadurch werden die Einkommenspläne der Wirtschaftssubjekte bei $\varepsilon=0$ bis in $t = 23$ nicht gestört, während bei $\varepsilon=0,5$ bzw. $\varepsilon=1$ die Umweltqualität bereits in $t = 4$ bzw. $t = 2$ zur Engpaßvariablen der wirtschaftlichen Aktivität wird. Eine starre, inflexible Volkswirtschaft würde also externe Effekte weniger ausnutzen als eine flexible Wirtschaft. Dagegen ist allerdings eine vollkommen starre Volkswirtschaft unfähig, ihre Emissionspläne bei Eintreten des Engpasses ($t=23$) nach unten zu korrigieren und langfristig ein Absinken der Emissionsnachfrage zu ermöglichen. Je flexibler die Wirtschaftssubjekte sind, desto schneller können sie, wenn die Umweltqualität zum Engpaßfaktor wird, ihre Emissionspläne nach unten korrigieren. In $t = 4$ wird bereits bei $\varepsilon = 1$ die Emissionsnachfrage geringer als bei $\varepsilon = 0,5$.

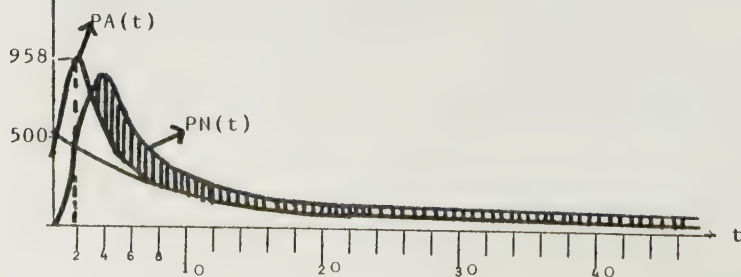
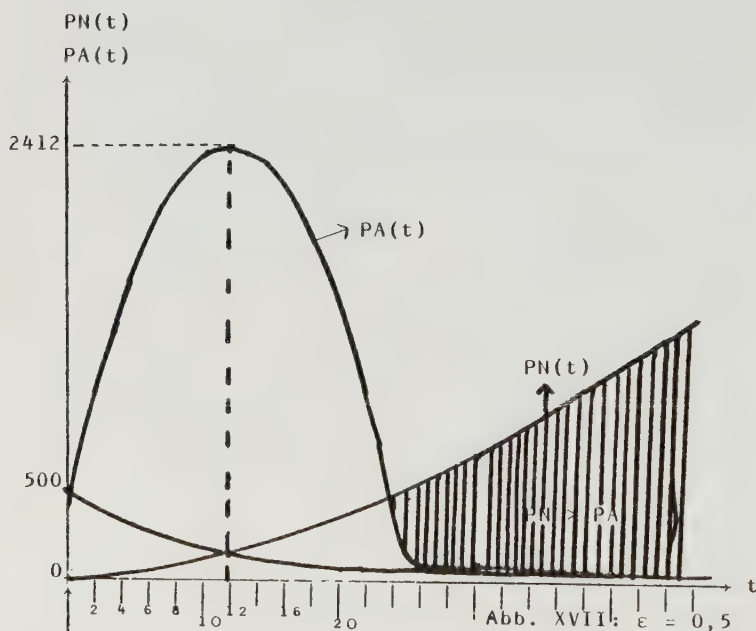
4. Verlauf von $PA(t)$

Das Angebot an Emissionen hat dann seinen Höhepunkt, wenn $P^*(t)$ vollkommen nachgefragt wird, wobei die Abbaurate der Emissionen berücksichtigt werden muß. Dies würde bei $\varepsilon=0$ in $t = 12$, bei $\varepsilon=0,5$ in $t = 2$ und bei $\varepsilon = 1$ in $t = 1$ vorkommen. Der Maximalpunkt wird also umso früher erreicht, je höher die Flexibilität ist. Nach dem Maximalpunkt von $PA(t)$ tritt dann die Engpaßsituation umso schneller ein, je

größer die Flexibilität ist. Bei $\epsilon = 0$ dauert dies 11 Perioden, bei $\epsilon = 0,5$ nur noch eine Periode. Langfristig folgt allerdings $PA(t)$ den staatlichen Emissionsvorschriften P^* und wird damit unabhängig von der Flexibilität. Dies ist ab $t = 7$ für $\epsilon = 0,5$ bzw. $\epsilon = 1$ zu erkennen.

5. Die Verläufe von $PA(t)$ und $PN(t)$ werden nun in Abb. XVI und XVII dargestellt:

Abb. XVI: $\epsilon \rightarrow 0$

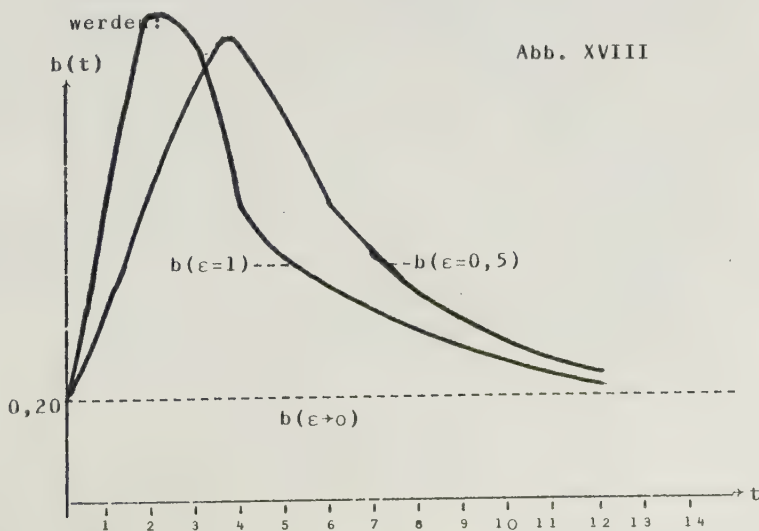


Die straffierte Fläche bedeutet dabei, daß die Nachfrage größer als das Angebot an Emissionen ist. Diese Fläche wird dabei umso größer, je kleiner die Flexibilität der Wirtschaftssubjekte ist. Wie in Abb. XVI zu ersehen ist, wird die Diskrepanz zwischen $PN(t)$ und $PA(t)$ mit $t \rightarrow \infty$ für $\epsilon \rightarrow 0$ immer größer. Die Emissionspläne der Wirtschaftssubjekte können damit nur noch zum Teil befriedigt werden, was sich wiederum im tatsächlichen Einkommen niederschlägt. Da die relative Abweichung zwischen staatlichen und privaten Emissionsplänen immer größer wird, werden auch die relativen Abweichungen zwischen geplanten und tatsächlichen Volkseinkommen immer größer.

Ferner kann festgestellt werden, je kleiner die Flexibilität ist, desto später erreicht die Verschmutzung ihren Maximalpunkt ($PA = PN$) und desto kleiner fällt dieser aus. Bei einer endlichen Flexibilität paßt sich $PA(t)$ dem Wert $\frac{1}{1-d}P^*(t)$ an und $PN(t)$ nähert sich diesem Wert asymptotisch.

6. Verläufe des Schadstoffkoeffizienten $b(t)$

Geht man von der Tabelle aus, so können folgende Verläufe des Schadstoffkoeffizienten dargestellt werden:



Wie im Abschnitt C bereits erwähnt, bewegt sich die wirtschaftliche Aktivität in der ersten Phase auf dem Gleichgewichtspfad. Diese Phase ist im Zahlenbeispiel bei $\varepsilon = 1$ in $t = 1$, bei $\varepsilon = 0,5$ in $t = 4$ und bei $\varepsilon = 0$ in $t = 23$ abgeschlossen. Der Gleichgewichtspfad muß deshalb verlassen werden, weil die Umweltbehörde die Umweltqualität nicht unter ein bestimmtes Niveau fallen lassen will und die Emissionen kurzfristig nur durch Einkommensenkungen vermindert werden können. In der anschließenden Zwischenphase versuchen nun die Wirtschaftssubjekte dem emissionsbedingten Kostendruck zu entgehen, indem sie versuchen, den Verschmutzungskoeffizienten und damit auch ihre Emissionspläne zu vermindern. Dies gelingt ihnen, wie aus Abb. XIX zu ersehen ist, mit unterschiedlichem Erfolg. Die Zwischenphase dauert dabei umso länger, je kleiner die Flexibilität ist. So ist $z_1 = 3,3$, $z_2 = 5,3$ und $z_3 = \infty$. In der Endphase erfolgt eine relative Stabilisierung des Gleichgewichtspfades, da die wirtschaftliche Aktivität einen Parallelpfad zum Gleichgewichtspfad asymptotisch anstrebt. Dies ist nicht möglich, wenn die Flexibilität $\varepsilon \rightarrow 0$. In dieser Extremsituation würde die wirtschaftliche Aktivität asymptotisch auf ein Einkommensniveau zurückfallen, indem die Emissionen bei einem konstanten Schadstoffkoeffizienten vollkommen assimiliert werden können, was bei $Y(t) = Y(0) = 1000$ zutreffen würde. Bei einem Flexibilitätsindex $\varepsilon = 1$ folgt der Parallelpfad mit einem Lag von einer, bei $\varepsilon = 0,5$ mit einem Lag von zwei Perioden dem Gleichgewichtspfad. In $t = 12$ folgt die wirtschaftliche Aktivität bereits mit weniger als 2(4)Perioden bei $\varepsilon = 1(0,5)$ dem Gleichgewichtspfad $Y(K)$.

Die wirtschaftliche Aktivität steigt, nachdem sie die 'Talsole' in der Zwischenphase überschritten hat, mit hohen Wachstumsraten an, die sich dann mit $t \rightarrow \infty$ asymptotisch auf $n+F$ verlangsamen. Die Steigung ist dabei umso größer, je größer die Flexibilität der Wirtschaftssubjekte ist. Geht der Flexibilitätsindex $\varepsilon \rightarrow \infty$, dann nähert sich der Beginn der Zwischenphase ($t=s$) Null. Die Dauer der Zwischenphase $z \rightarrow 0$, wobei der Anstieg aus der Talsole $\rightarrow \infty$, bis der Gleichgewichtspfad erreicht ist.

8. Resümee

Sobald die Umweltqualität zum Engpaßfaktor der wirtschaftlichen Aktivität wird, können die Wirtschaftssubjekte ihre Einkommenspläne nicht mehr realisieren. Da ihre Einkommenspläne mit dem Gleichgewichtspfad $Y(K)$ übereinstimmen und damit vorgegeben sind, können sie die wirtschaftliche Aktivität ihren Plänen nur annähern, wenn es ihnen gelingt, ihre Emissionspläne an den staatlich zugelassenen Neuemissionen $P^*(t)$ zu orientieren. Dies gelingt ihnen umso besser, je anpassungsfähiger, flexibler sie sind. Die Emissionspläne $P_N(t)$ müssen sich deshalb langfristig an $P^*(t)$ orientieren, da $P_A(t)$ langfristig unabhängig von der Flexibilität der Wirtschaftssubjekte in einem konstanten Verhältnis zu $P^*(t)$ steht. Kurz- und mittelfristig entfernt sich jedoch $P_A(t)$ umso weiter von $P^*(t)$, je kleiner die Flexibilität ist, da die Umweltqualität eine längere Zeit über den geschützten Mindestqualitätsniveaus $Q^*(t)$ liegt als dies bei einer höheren Flexibilität der Fall wäre, denn, je kleiner die Flexibilität, desto weniger erhöht sich der Schadstoffkoeffizient.

E. Umweltprobleme bei offenen Volkswirtschaften¹⁾

1. Einfluß von Umweltarmut und -reichtum auf die Handelsströme

Wenn eine offene Wirtschaft betrachtet wird, dann ist es wichtig zu wissen, im welchen Stadium des Produktionsprozesses die Emissionen anfallen. Emissionen sind denkbar beim Abbau von Rohstoffen, bei Herstellung von Zwischen- und Endprodukten und beim Ge- und Verbrauch von Endprodukten.

a) Fallen die Emissionen mit dem Ge- oder Verbrauch eines Endproduktes an, dann ist ein Handelsvorteil des umweltreicheren Landes bei emissionsintensiven Produkten nicht ohne weiteres zu erkennen. Exportiert das umweltreiche Land ein emissionsintensives Produkt, dann muß es die höheren Umweltqualitätsnormen des umweltärmeren Landes berücksichtigen. Da es seine Güter umrüsten muß, hat es eher einen Wettbewerbsnachteil. Importiert es solche Güter von einem umweltarmen Land, dann müssen die Importwaren nicht wettbewerbsbenachteiligt sein, da bei deren Produktion weniger Umweltauflagen beachtet werden müssen, wenn diese Güter exportiert werden. Auf lange Frist hat das umweltarme Land sogar gegenüber dem reichen Land einen Handelsvorteil, da auch das umweltreiche Land mit Zunahme der wirtschaftlichen Aktivität, seine Umweltnormen erhöhen muß und das Ausland seine Produktion schon länger darauf eingestellt hat.

b) Entstehen die Emissionen während des Herstellungsprozesses, dann kann es zu Produktionsverlagerungen in umweltreichere Länder auf kurze und mittlere Sicht kommen. Diese Strukturverschiebungen senken den Schadstoffkoeffizienten im umweltarmen und erhöhen ihn im umweltreichen Land.

1. Vgl. Siebert, Horst, Ökonomische Theorie der Umwelt, Tübingen 1978

Da ein großer Teil der Emissionen in der Grundstoffindustrie anfällt, ist es denkbar, daß das umweltärmere Land nun kurz- und mittelfristig eher dazu tendiert, Zwischenprodukte dieser Industrie zu importieren und die Endprodukte zu exportieren. Der im umweltarmen Land entstehende Kosten- und Wettbewerbsdruck würde u.a. positiv auf die Anwendung umweltfreundlicher Verfahren und Technologien wirken und damit dem umweltarmen Land auf lange Sicht wieder einen Vorteil bei ehemals verschmutzungsintensiven Gütern verschaffen, da schärfere Umweltschutzmaßnahmen im Ausland auch eine Frage der Zeit sind. Die internationale Spezialisierung verläuft damit konträr, je nachdem, ob man den Handel mittel- bzw. langfristig betrachtet. Es ist damit fraglich, ob die Ausnutzung eines temporären Vorteils überhaupt wünschenswert ist. Ist das umweltreiche Land inflexibler als das umweltarme Land, dann werden diese temporären Strukturverschiebungen mit Einkommensverlusten verbunden sein.

c) Resümee

Da Reichtum an Umweltqualität oftmals nur temporär ist, hat auch das umweltreiche Land nur temporäre Vorteile bei emissionsintensiven Produkten. Wenn ein temporärer Handelsvorteil besteht, dann lohnt sich eine temporäre Spezialisierung nur, wenn das Land sehr flexibel ist und damit Strukturverschiebungen ohne nennenswerte Einkommenseinbußen verkraftet. Ferner spielt es eine Rolle, ob der Umweltreichtum durch den natürlichen Standort, die schwache wirtschaftliche Aktivität oder durch Mindereinschätzung der Umweltqualität hervorgerufen wurde. Wurde der Umweltreichtum durch den natürlichen Standort verursacht, dann lohnt sich eine langfristige Spezialisierung auf internationaler Ebene.

2. Emissionen als grenzüberschreitender Faktor

Es ist schon schwierig, das Umweltproblem auf nationaler Ebene zu lösen, aber noch viel schwieriger wird das Problem auf internationaler Ebene¹⁾. So verhalten sich viele Staaten bei grenzüberschreitenden Emissionen als free rider²⁾, wenn sie die Umweltrisiken an Nachbarländer abschieben. Hier besteht allerdings die Chance, die Probleme mit Hilfe von Verhandlungsstrategien zu lösen. Noch größer werden die Probleme bei globaler Umweltverschmutzung³⁾. Vor allem wären hier die Meere zu nennen, denen heute noch eine Allmende-Funktion anlastet. Das Meer kann heute als die größte Abfallgrube der Welt betrachtet werden. Inwieweit es gelingt, durch internationale Vereinbarungen diesem Übel zu begegnen, muß heute noch offen bleiben.⁴⁾

1. Vgl. Schimmang, Wolf, a.a.O., S. 125 ff.

2. Zu denken wäre hier an die Rheinwasserbelastung durch Kalisalze des Elsaß.

3. Vgl. Windisch, R., a.a.O., S. 345 ff.

4. Vgl. Rüster, Bernd, Die Zukunft des blauen Planeten, in: Weltprobleme, München 1980, S. 179 ff.

§ 3 Ansatz mit Berücksichtigung der Ressourcen

Es wird nun ein Ansatz entwickelt, indem die Rohstoffe zur Engpaßvariablen der wirtschaftlichen Aktivität werden.

A. Hypothesen, Annahmen des engpaßtheoretischen Ansatzes

1. Geht man davon aus, daß die Ersetzbarkeit eines heute unbedingt notwendigen Rohstoffes $R(t)$ nur über die Zeit möglich ist, so ist die statische Substitutionselastizität gleich Null. Es wird nun ferner angenommen, daß die Entwicklung des Volkseinkommens von zwei Einkommenspfaden abhängig ist.

a) Der eine Einkommenspfad wird als Gleichgewichtspfad definiert. Die wirtschaftliche Aktivität bewegt sich solange auf ihm, wie der erwähnte Rohstoff keine Engpaßvariable der wirtschaftlichen Aktivität ist. Da die wirtschaftliche Aktivität auf dem Gleichgewichtspfad mit der Wachstumsrate des Arbeitspotentials, gemessen in Effizienzeinheiten, wächst, folgt

$$Y(K) = Y(0)e^{(n+F)t}. \quad (304)$$

Der Gleichgewichtspfad stimmt somit mit dem des letzten Ansatzes überein.

b) Wird nun ein wichtiger Rohstoff, der nicht regenerierbar sei und im begrenzten Maße vorhanden ist, zur Engpaßgröße der wirtschaftlichen Aktivität, dann wird das Volkseinkommen durch das Rohstoffangebot und den Rohstoffkoeffizienten bestimmt,

$$Y(R) = \frac{RA(t)}{x(t)}, \quad (305)$$

wobei $x(t)$ als Rohstoffkoeffizient und $RA(t)$ als

Rohstoffangebot definiert ist.

c) Das Volkseinkommen orientiert sich stets am minimalen Einkommenspfad,

$$Y(t) = \min\{Y(K); Y(R)\}, \quad (306)$$

da die kurzfristige Substitutionselastizität zwischen dem Rohstoff $R(t)$ und Kapital und Arbeit Null sei.

2. Angebot und Nachfrage nach einem bestimmten Rohstoff.

a) Rohstoffvorrat $R(t)$ sei, wie schon erwähnt, endlich, bekannt und nichtregenerierbar.

Es wird nun angenommen, daß die Förderquote $V^*(t)$ für diesen Rohstoff so festgelegt, daß dieser Rohstoff für einen bestimmten Zeitraum zur Verfügung steht, der mit T bezeichnet werden soll. Ist der Rohstoffvorrat $R(t)$ konstant, dann kann der Verlauf der Förderquote wie folgt beschrieben werden:

$$V^*(t) = \frac{R(0)}{T} \exp\left(-\frac{1}{T}t\right). \quad (307)$$

Dieses Rohstoffstreckungsverhalten könnte mit der Erhaltung einer relativ sicheren, gewinnbringenden Einnahmenquelle für einen bestimmten Zeitraum begründet werden, verbunden mit späteren positiven Erwartungen über die Preisentwicklung. Oder eine Generation trifft Vorsorgeüberlegungen für ihre Existenz und durch das Ineinanderübergehen der Generationen wird dann der Vorsorgezeitraum T stets weiter in die Zukunft geschoben. Gewinn- und Vorsorgeverhalten können somit zur Kontingentierung des Ressourcenabbaus führen.

Aus GG. (307) kann nun die gewünschte Mindestreserve am Rohstoff $R(t)$ abgeleitet werden:

$$R^*(t) = R(0)\exp(-\frac{1}{T}t). \quad (308)$$

b) Dem gewünschten Verbrauch steht nun die Nachfrage der Wirtschaftssubjekte gegenüber, die vom Ausmaß der wirtschaftlichen Aktivität $Y(K)$ und dem Rohstoffkoeffizienten $x(t)$ abhängt,

$$\begin{aligned} RN(t) &= x(t)Y(K), \\ &= x(t)Y(0)\exp((n+F)t). \end{aligned} \quad (309)$$

Der gesamtwirtschaftliche Nachfrageplan der Wirtschaftssubjekte $RN(t)$ wird somit vom Einkommensplan $Y(K)$ abgeleitet. Der Rohstoffkoeffizient $x(t)$ hängt dabei von der Zeit ab. Wiederaufbereitung, sparsame Technologie wie auch Verschwendung wirken auf diesen Koeffizienten ein. Werden Rohstoffe im Überfluß angeboten, so tendiert dieser Koeffizient dazu, sich zu vergrößern. Umgekehrt wird er sinken, wenn Verknappungen auftreten.

c) Überfluß entsteht dann, wenn der angebotene Rohstoff nicht aufgebraucht wird und das Angebot $RA(t)$ durch Überschüsse vergangener Perioden wächst,

$$RA(t) = RN(t) + \int_0^t \{V^*(s) - RN(s)\}ds, \quad (310)$$

wobei $RA \geq V^*$.

3. Der Rohstoffkoeffizient $x(t)$

Das Verhalten des Rohstoffkoeffizienten wird hier nicht exogen vorgegeben, sondern wird als das Ergebnis systemendogener Vorgänge gesehen. In Zeiten steigenden Angebotes $RA(t)$, was relativen Überfluß

am Rohstoff $R(t)$ bedeutet, wird auf Wiederaufbereitungsanlagen, Rückgewinnungsverfahren und ressourcensparende Verfahren bei der Produktion nicht besonders viel Wert gelegt. Die Wirtschaft verhält sich somit in Bezug auf den Rohstoffkoeffizienten nicht neutral, sondern der Rohstoffverbrauch steigt in dieser Phase stärker an als dies aufgrund des Wachstums der wirtschaftlichen Aktivität zu vermuten wäre. Kann die Nachfrage nach dem Rohstoff nicht mehr voll befriedigt werden, dann werden die Wirtschaftssubjekte in ihrem Einkommensplan $Y(K)$ gestört, was sie per Annahme veranlassen wird, ihren Rohstoffverbrauch zu reduzieren. Es werden somit Rohstoffeinsparungen vorgenommen.

Das Verhalten des Rohstoffkoeffizienten $x(t)$ hängt damit nach der Hypothese von der Relation zwischen den Einkommenspfaden $Y(R)$ und $Y(K)$ ab,

$$w_x(t) = \epsilon \cdot \ln \left\{ \frac{Y(R(t))}{Y(K(t))} \right\}. \quad (311)$$

Ist diese Relation größer eins, dann werden mehr Rohstoffmengen angeboten als für $Y(K)$ notwendig sind, wodurch der Rohstoffpreis zu den anderen Faktorpreisen relativ sinken wird. Der Rohstoffkoeffizient wird bei dieser Konstellation dann ansteigen. Wird die Relation kleiner eins, dann gilt umgekehrt, daß die Opportunitätskosten für $x(t)$ ansteigen, da $Y(K)$ nicht mehr verwirklicht werden kann. Ökonomisch ist dann die Senkung vom Rohstoffkoeffizienten mit Gewinnen und Reduzierung der Opportunitätskosten verbunden, so daß folgender Satz gilt:

*"In an stylized Schumpeterian evolutionary System there is both a carrot and a stick to motivate firms to introduce 'better' produktiv methods on products."*¹⁾

1. Nelson, R.R., Winter, S.G., "Growth Theory from an Evolutionary Perspektive", in: *American Economic Review*, 1975, S. 34

Der Verlauf des Rohstoffkoeffizienten hat somit einen aufsteigenden Ast, der als Vergeudungsphase bezeichnet werden kann, und einen absteigenden Ast, der als Einsparphase bezeichnet werden soll. Der Rohstoffkoeffizient hat dann seinen Maximalpunkt erreicht, wenn die wirtschaftliche Aktivität den Gleichgewichtspfad $Y(K)$ verlassen muß, bedingt durch die Mindestrohstoffreservenpolitik, und sich dann auf $Y(R)$ bewegt. Im biologischen Ansatz wurde dieser Maximalpunkt nicht auf den Schnittpunkt der beiden Einkommenspfade $Y(K)$ und $Y(R)$ zurückgeführt, sondern der Maximalpunkt von $x(t)$ war Ausdruck dafür, daß der Mensch in diesem Inflexionspunkt lernt, in Kreisläufen zu denken. Es finden also kybernetische Denkprozesse statt, die ein Absinken von $x(t)$ zur Folge haben. Von einer direkten Beziehung zwischen Rohstoffkoeffizienten und geistiger Erneuerung des Menschen wird hier allerdings abgesehen. Es ist jedoch durchaus möglich, daß sich solche Verhaltensänderungen in diesem Ansatz in T niederschlagen. Je größer T , desto größer die Fürsorge heutiger Generationen für zukünftige Generationen.

B. Ableitungen und Finalgleichungen

1. Verlauf von $V^*(t)$, der erlaubten Förderquote
Leitet man

$$V^*(t) = \frac{R^*(t)}{T} \quad (312)$$

nach der Zeit ab, dann ergibt sich

$$DV^* = \frac{1}{T} DR^*. \quad (313)$$

Da der Rohstoffbestand als konstant angenommen

wurde und $DT = 0$,¹⁾ folgt

$$DV^* = -\frac{1}{T}V^*(t), \text{ bzw.} \quad (314)$$

$$w_{V^*} = -\frac{1}{T}. \quad (315)$$

Die Förderquote hat nun folgenden Verlauf:

$$\begin{aligned} V^*(t) &= V^*(0)\exp\left(-\frac{1}{T}t\right), \\ &= \frac{R(0)}{T}\exp\left(-\frac{1}{T}t\right), \end{aligned} \quad (316)$$

$$\text{wobei } V^*(0) = \frac{R^*(0)}{T} = \frac{R(0)}{T}. \quad (317)$$

2. Verlauf der garantierten Mindestvorräte $R^*(t)$
Logarithmiert man nun GG.(312) und leitet es nach der Zeit ab, dann erhält man

$$\begin{aligned} w_{V^*} &= w_R - w_T, \\ &= w_R, \end{aligned} \quad (318)$$

da $w_T = 0$.

Die Mindestvorräte $R^*(t)$ haben nun folgenden Verlauf:

$$R^*(t) = R(0)\exp\left(-\frac{1}{T}t\right). \quad (319)$$

3. Verlauf von Rohstoffnachfrage und -angebot
Das Rohstoffangebot $RA(t)$ fällt dann mit der Förderquote $V^*(t)$ zusammen, wenn die Nachfrage durch das Angebot an Rohstoffmengen nicht mehr befriedigt werden kann.

1. Vgl. hierzu die Gleichgewichtsbedingungen bei Suzuki, Hideo, a.a.O., S. 527 ff.

Für $RA(t) \geq RN(t)$ gilt dann

$$RA(t) = RN(t) + \int_0^t \{V^*(s) - RN(s)\} ds. \quad (320)$$

Das Rohstoffangebot steigt solange an, wie die Förderquote nicht vollkommen nachgefragt wird, bleibt konstant, wenn beide gleich sind und sinkt schließlich bis auf $V^*(t)$, wenn die Nachfrage die Förderquote übersteigt. Dies kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$RN(t) \leq V^*(t), \text{ folgt}$$

$$DRA \geq 0. \quad (321)$$

Wenn $RN(t) > V^*(t)$, folgt

$$DV^* \leq DRA < 0. \quad (322)$$

Die Nachfrage nach Rohstoffmengen hängt zum einem von den Einkommensplänen $Y(K)$ und zum anderen von dem Rohstoffkoeffizienten und dessen Veränderungsrate ab,

$$RN(t) = RN(0) \exp \left\{ (n+F)t + \int_0^t w_x(s) ds \right\}, \quad (322)$$

wobei

$$w_{RN}(t) = n+F+w_x(t). \quad (323)$$

Die Veränderungsrate des Rohstoffkoeffizienten w_x wird nur dann positiv sein, wenn das Rohstoffangebot größer als die -nachfrage ist und wird negativ sein im umgekehrten Fall:

$$Dx \underset{\sim}{\geq} 0 \text{ für } RN(t) \underset{\sim}{\leq} RA(t). \quad (324)$$

Solange nun die Nachfrage $RN(t)$ die Förderquote nicht ganz ausfüllt, entfernen sich $R^*(t)$ und $R(t)$ relativ voneinander. Im umgekehrten Fall nähern sich $R^*(t)$ und $R(t)$ wieder an und werden dann gleich, wenn $RA(t) = RN(t)$.

4. Entwicklungspfad des Volkseinkommens

Die Wirtschaftssubjekte planen aufgrund von Kapital und Arbeit einen bestimmten Entwicklungspfad des Volkseinkommens, der als gegeben angenommen wird. Für die wirtschaftliche Aktivität gilt nun

$$Y(t) \bar{=} Y(0)e^{(n+F)t}, \quad (325)$$

$$\text{wenn } RA(t) \underset{\sim}{\geq} RN(t). \quad (326)$$

Bezeichnet man den Zeitpunkt, indem die wirtschaftliche Aktivität den Gleichgewichtspfad verläßt mit $t = s$, dann ist die bereits schon erwähnte Zwischenphase dann abgeschlossen, wenn die wirtschaftliche Aktivität das Niveau von $t = s$ wieder erreicht hat,

$$s < t < s+\tau \text{ für}$$

$$Y(t) < Y(s) = Y(s+\tau). \quad (327)$$

Nach der Überwindung der Zwischenphase mit der Dauer τ strebt die Volkswirtschaft einen Wachstumspfad an, der die gleiche Wachstumsrate wie der $Y(K)$ -Pfad aufweist, allerdings nur bei Extremwerten mit diesem übereinstimmt,

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Y(t) = Y(0)e^{(n+F)(t-r)}. \quad (328)$$

Dieser Parallelpfad folgt somit mit einer Verzögerung von r -Perioden dem geplanten Einkommenspfad $Y(K)$. r errechnet man nun, indem man von GG.(248) ausgeht, welche besagt, daß das Sozialprodukt nur auf Dauer mit $n+F$ wachsen kann, wenn

$$w_x(t) = -(n+F+\frac{1}{T}). \quad (329)$$

Diese Bedingung muß auch hier langfristig gelten. Der gewünschte Verlauf des Rohstoffkoeffizienten $x^*(t)$ wäre dann

$$x^*(t) = x(0)\exp\{-(n+F+\frac{1}{T})t\}. \quad (330)$$

In diesem Ansatz wurde folgender Verlauf festgestellt:

$$x(t) = x(0)\exp\left\{\varepsilon \int_0^t \ln \frac{Y(R(s))}{Y(K(s))} ds\right\}. \quad (331)$$

Da langfristig sich die Werte $x(t)$ und $x^*(t)$ immer mehr annähern müssen, muß auch für die Wachstumsraten gelten:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} w_x(t) = n+F+\frac{1}{T} = \varepsilon \ln \frac{Y(R)}{Y(K)}. \quad (332)$$

Da die wirtschaftliche Aktivität auf lange Sicht durch $Y(R)$ begrenzt wird, gilt dann

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} Y(t) &= \lim_{t \rightarrow \infty} Y(R), \quad (333) \\ &= Y(K)\exp\left\{-\frac{1}{\varepsilon}(n+F+\frac{1}{T})\right\}, \\ &= Y(0)\exp\left\{(n+F)t - \frac{1}{\varepsilon}(n+F+\frac{1}{T})\right\}, \\ &= Y(0)\exp\left\{(n+F)\left(t - \frac{1}{\varepsilon}\left(1 + \frac{1}{T(n+F)}\right)\right)\right\}. \end{aligned}$$

r hat somit folgenden Wert:

$$r = \frac{1}{\varepsilon} \left(1 + \frac{1}{T(n+F)} \right). \quad (334)$$

Je größer nun die Flexibilität ist, desto kleiner wird die langfristige Verzögerung r. Ferner gilt auch, je größer die Flexibilität ist, desto schneller wird ein Ressourcenüberfluß abgebaut und Engpässe an Rohstoffen relativiert:

$$s(\varepsilon)' < 0, \quad (335)$$

$$\tau(\varepsilon)' < 0. \quad (336)$$

Die Verzögerung ist allerdings nicht nur allein von der Flexibilität abhängig, sondern auch vom technischen Fortschritt F, der Wachstumsrate der Arbeitskräfte n und dem zugrundegelegten Zeithorizont T. Je größer diese Größen sind, desto kleiner wird die langfristige Verzögerung r.

C. Resümee

1. Wie im letzten Ansatz können die Wirtschaftssubjekte solange dem Gleichgewichtspfad $Y(K)$ folgen wie noch Rohstoffe im Überfluß angeboten werden.
2. Ein überschüssiges Rohstoffangebot führt über relativ sinkende Rohstoffpreise zu Verbrauchserhöhungen, die nicht mehr allein auf das Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität zurückzuführen sind. Durch den beschleunigten Verbrauch des Rohstoffes verkürzt sich die Zeitspanne des relativen Überflusses.

3. Die engpaßinduzierten Einkommensverluste, welche die Opportunitätskosten des Rohstoffkoeffizienten erhöhen, werden nun abzubauen versucht, indem die Wirtschaftssubjekte versuchen, den Rohstoffkoeffizienten zu reduzieren. Wie lange diese Umstellungsphase dauert, hängt von der Flexibilität, der geplanten Wachstumsrate und dem Zeithorizont T der Wirtschaftssubjekte ab. Je kleiner die anfängliche Förderquote war, desto größer kann T sein und desto weniger muß die Förderquote im Zeitablauf reduziert werden, wodurch die Umstellungsphase schneller überwunden werden kann. Dies kann im Extremfall dazu führen, daß die Dauer des Rohstoffüberflusses gegen null geht $\{V^*(0) \rightarrow RN(0)\}$. Je höher die geplante Wachstumsrate $n+F$ ist, umso schneller wachsen die Opportunitätskosten für den Rohstoffkoeffizienten an, und die Bemühungen, die Umweltabhängigkeit der wirtschaftlichen Aktivität zu senken, werden folglich größer. Je anpassungsfähiger die Wirtschaftssubjekte sind, desto kürzer wird die Umstellungsphase s sein.

4. Wenn nicht die Flexibilität gegen Null geht, bzw. $T(n+F)$ annähernd Null wird, dann bewegt sich die wirtschaftliche Aktivität in der Endphase auf einen Parallelpfad zum Gleichgewichtspfad zu. Damit folgt die wirtschaftliche Aktivität langfristig mit einem bestimmten Lag dem Gleichgewichtspfad. Der Lag ist umso kleiner, je größer n, F, T und ϵ sind.

5. Der Gleichgewichtspfad ist damit relativ stabil, es sei denn, der langfristige Lag r strebt gegen ∞ wodurch der neomalthusianische Wachstums- pessimismus bestätigt würde oder r strebt gegen Null, wodurch absolute Stabilität des Gleich-

gewichtspfad gegeben wäre. Man hätte dann neoklassische Ergebnisse.

6. Entscheidend in diesem Ansatz ist die Flexibilität der Wirtschaftssubjekte, d.h. die Fähigkeit, die durch Rohstoffverknappung hervorgerufenen Störungen bei den Einkommensplänen zu vermindern durch Korrektur der Rohstoffnachfrage.

D. Zahlenbeispiele

Die vorigen Ergebnisse kann man verdeutlichen, wenn man ein Zahlenbeispiel für verschiedene Flexibilitäten konstruiert.

1. Basisdaten

Es wird von folgenden Ausgangsdaten ausgegangen:

$$Y(0) = 1000, \quad (337)$$

$$T = 20, \quad (338)$$

$$x(0) = 3 \text{ und} \quad (339)$$

$$R(0) = 100000. \quad (340)$$

Die Mindestvorräte haben nun folgenden Verlauf:

$$R^*(t) = 100000 \exp(-0,05t). \quad (341)$$

Daraus folgt

$$V^*(t) = 5000 \exp(-0,05t). \quad (342)$$

Der Rohstoffkoeffizient wird nun wie folgt geschätzt:

$$\hat{x}(t) = \hat{x}(t-1) \exp \left\{ \epsilon \ln \frac{Y(R(t-1))}{Y(K(t-1))} \right\}. \quad (343)$$

Dieser geschätzte Wert wird dann in der Nachfrage berücksichtigt:

$$\hat{RN}(t) = \hat{x}(t)Y(0)\exp((n+F)t). \quad (344)$$

Das Angebot an Ressourcen wird geschätzt, indem angenommen wird, daß sich das heutige Angebot aus der erlaubten Förderquote $V^*(t)$ und den Überschüssen von $t-1$ zusammensetzt:

$$\hat{RA}'(t) = V^*(t) + RA(t-1) - RN(t-1). \quad (345)$$

Die Verläufe von $V^*(t)$, $x(t)$, $RN(t)$, $RA(t)$ und $Y(t)$ können nun bei einer geplanten Wachstumsrate des Sozialprodukts von $n+F$ in der folgenden Tabelle abgelesen werden. Wird in einer Periode das Angebot von der Nachfrage überschritten, dann wird einer Einkommenserhöhung vor der Erhöhung des Rohstoffkoeffizienten der Vorzug gegeben. Diese Situation wird mit einem * versehen.

t	V*(t)	x(t)		RN(t)		RA(t)		Y(t)	
		$\epsilon = 0,5$	$\epsilon = 1$	$\epsilon = 0,5$	$\epsilon = 1$	$\epsilon = 0,5$	$\epsilon = 1$	$\epsilon = 0,5$	$\epsilon = 1$
0	5000	3,00	3,00	3000	3000	5000	5000	1000	1000
1	4756	3,87	5,00	4067	5256	6756	6756	1051	1051
2	4524	4,99	5,45*	5511	7103	7213	6024	1105	1105
3	4304	5,17*	5,45	6632	6333	6006	4304	1162	790
4	4094	5,17	3,70	6313	4524	4094	4094	792	1105
5	3894	4,16	3,35	5346	4304	3894	3894	936	1162
6	3704	3,55	3,03	4795	4094	3704	3704	1043	1221
7	3523	3,12	2,74	4429	3888	3523	3523	1129	1284
8	3352	2,78	2,48	4153	3705	3352	3352	1206	1350
9	3188	2,50	2,25	3919	3523	3188	3188	1275	1419
10	3033	2,25	2,03	3718	3352	3033	3033	1348	1492

2. Einkommensverläufe

Das Volkseinkommen beträgt auf dem Gleichgewichtspfad in $t = 6$

$$Y(K(6)) = 1350. \quad (346)$$

In diesem Zahlenbeispiel folgt dann die wirtschaftliche Aktivität mit einer Verzögerung von 2(4) Perioden bei einer Flexibilität $\epsilon = 1(=0,5)$ dem Gleichgewichtspfad und erreicht in $t = 8(=10)$ das gleiche Niveau wie $Y(K)$ in $t = 6$.

Je flexibler die Wirtschaftssubjekte sind, desto geringer ist die zeitliche Verzögerung, mit der sie dem Gleichgewichtspfad folgen.

3. Verläufe des Rohstoffkoeffizienten

Aus der Tabelle ist zu ersehen, je größer die Flexibilität ist, desto schneller erreicht der Rohstoffkoeffizient sein Maximum und umso schneller vermindert er sich wieder.

4. Verläufe des Rohstoffangebotes

Das Rohstoffangebot wird umso eher mit der Förderquote übereinstimmen, je mehr die Wirtschaftssubjekte versuchen, den ursprünglichen Rohstoffüberschuß abzubauen. So stimmt bereits $RA(t)$ in $t = 3$ bei einer Flexibilität $\epsilon = 1$ mit der Förderquote $V^*(t)$ überein. Bei $\epsilon = 0,5$ ist dies erst eine Periode später möglich. Die Nachfrage paßt sich also umso besser dem Angebot an, je höher die Flexibilität der Wirtschaftssubjekte ist.

5. Tabelle für die langfristige Verzögerung r , mit der die wirtschaftliche Aktivität dem Gleichgewichtspfad folgt.

Es soll nun gezeigt werden, wie stark die langfristige Verzögerung r von den Größen T , ε und $n+F$ abhängt. Für $n+F$ wird 0,05(0,01) angenommen.

T	ε	1	0,5	0,33	0,2
5	5(21)		10(42)	15(63)	25(105)
10	3(11)		6(22)	9(33)	15(55)
20	2(6)		4(12)	6(18)	10(30)
40	1,5(3,5)		3(7,5)	4,5(10,5)	7,5(17,5)

(347)

Es gilt also bei

$$0,01 \leq n+F \leq 0,05, \quad (348)$$

$$5 \leq T \leq 40 \text{ und} \quad (349)$$

$$0,2 \leq \varepsilon \leq 1 \quad (350)$$

folgende Verzögerung:

$$1,5 \leq r \leq 105. \quad (351)$$

Die Spannweite für r ist damit beträchtlich. Allgemein kann gesagt werden, je schneller ein Staat den Anstieg des Ressourcenverbrauchs stoppen kann, m.a.W., je größer T ist und je größer die geplante Wachstumsrate des Sozialprodukts und die Flexibilität der Wirtschaftssubjekte sind, desto kleiner fällt die Verzögerung r aus.

6. Unterstellt man nun, daß die Wirtschaftssubjekte einen konstanten Einkommenwert planen, $Y(K)$ sei $Y(0)$, dann muß die wirtschaftliche Aktivität unter das Niveau von $Y(0)$ sinken. Die wirtschaftliche Aktivität beträgt dann langfristig

$$Y(t) = Y(0) \exp\left(-\frac{1}{\epsilon T}\right). \quad (352)$$

Je größer die Flexibilität und T ist, desto näher liegt $Y(t)$ langfristig an $Y(0)$. Geht T über ein bestimmtes Maß hinaus, dann läßt sich das Einkommensniveau in $T = 0$ nicht mehr aufrechterhalten, da die Förderquote $V^*(0)$ nur ein niedriges Einkommen zuläßt.

7. Resümee

Durch das Zahlenbeispiel konnten die theoretischen Ergebnisse bestätigt werden. Die geplante Wachstumsrate $n+F$, der Zeithorizont T und die Flexibilität der Wirtschaftssubjekte sind von entscheidender Bedeutung für die Stabilität des Gleichgewichtpfades. Die Stabilität des Gleichgewichtpfades wird relativ geringer, je kleiner die Wachstumsrate des Gleichgewichtpfades, je kleiner der Zeithorizont T und je kleiner die Flexibilität der Wirtschaftssubjekte.

E. Besondere Probleme in einer offenen Wirtschaft

In heutigen Diskussionen befindet sich oftmals das Problem der verknüpften Rohstoffe und ihrer internationalen Verteilung¹⁾. Dabei wird von den Ländern der Dritten Welt den Industrieländern vorgeworfen, daß diese durch ihre Verschwendung dieses Rohstoffproblem verursacht haben. Es läßt sich auch durch empirische Studien zeigen, daß der Pro-Kopf-Verbrauch in den Industriestaaten um ein Vielfaches höher ist als in den Entwicklungsländern²⁾.

Es wird zu prüfen versucht, inwieweit diese Vorwürfe durch den in dieser Arbeit entwickelten Engpaßansatz bestätigt werden können.

1. Hypothesen, Annahmen und Definitionen

Es wird nun davon ausgegangen, daß es zwei Länder gibt, die sich ein Rohstoffangebot teilen müssen. Die Gesamtnachfrage nach Rohstoffen wird damit von der wirtschaftlichen Aktivität beider Länder und deren Rohstoffkoeffizienten abhängig,

$$RN(t) = x_1(t)Y_1(t) + x_2(t)Y_2(t). \quad (353)$$

Man errechnet nun den Weltrohstoffkoeffizienten mit Hilfe des Welteinkommens, wobei man davon ausgehen kann, daß die Verteilung des Welteinkommens unter der Voraussetzung gleicher Flexibilitäten konstant bleiben kann³⁾:

$$x(t) = \frac{RN(t)}{Y(t)} = x_1 \frac{Y_1}{Y} + x_2 \frac{Y_2}{Y}. \quad (354)$$

-
1. Vgl. von Pilgrim, Eberhard, Internationale Rohstoffprobleme in der Diskussion, in: Weltprobleme, a.a.O., S. 211 ff.
 2. Vgl. Schimmang, Wolf, a.a.O., S. 133
 3. Vgl. hierzu die methodische Vorgehensweise in dem Gebiet der variablen Sparquote bei Rose, Klaus, a.a.O., S. 61 ff.

Ansonsten werden die Gleichungen (304) bis (311) übernommen.

Nimmt man ferner an, daß sich die Rohstoffkoeffizienten der beiden Länder unterscheiden, dann gilt

$$x_1 < x < x_2. \quad (355)$$

2. Eintritt der Rohstoffverknappung

Würde man annehmen, die ganze Welt verbrauche x_1 , dann tritt die Rohstoffverknappung bei gleicher Flexibilität später auf, als wenn die ganze Welt einen Rohstoffkoeffizienten von x_2 hat. Da das Welteinkommen $Y(t)$ aus dem Einkommen der beiden Länder bestehen soll, ergibt sich

$$1 = \frac{Y_1}{Y} + \frac{Y_2}{Y}. \quad (356)$$

Setzt man das Ergebnis der GG. (356) in die GG. (354) ein, dann erhält man

$$x(t) = \left(1 - \frac{Y_2}{Y}\right)x_1 + x_2 \frac{Y_2}{Y}, \text{ bzw.} \quad (357)$$

$$x(t) - x_1(t) = \frac{Y_2}{Y}(x_2 - x_1). \quad (358)$$

Die Differenz zwischen dem durchschnittlichen und dem minimalen Rohstoffkoeffizienten hängt also vom Anteil des Volkseinkommens des rohstoffintensiveren Landes am Welteinkommen und der Differenz der beiden Rohstoffkoeffizienten ab. Je größer dieser Anteil am Welteinkommen ist und je mehr sich die beiden Rohstoffkoeffizienten voneinander entfernen, desto früher wird das rohstoffextensivere Land in eine Rohstoffverknappung hineingezogen als dies bei Autarkie möglich wäre.

Nimmt man realistischerweise an, daß Land 1 die Entwicklungsländer und Land 2 die Industrieländer repräsentiert¹⁾, dann wären die Industrieländer für den Zeitpunkt der Rohstoffverknappung verantwortlich.

3. Dieser Sachverhalt kann durch ein Zahlenbeispiel verdeutlicht werden:

$$\varepsilon_1, \varepsilon_2 = 1, \quad (359)$$

$$n_1 + F_1 = n_2 + F_2 = 0,05, \quad (360)$$

$$Y(0) = 1000, \quad (361)$$

$$R(0) = 100000, \quad (362)$$

$$x(t) = 3, \quad (363)$$

$$T = 20, \quad (364)$$

$$RN(0) = 3000, \quad (365)$$

$$\frac{Y_1}{Y} = 0,3, \quad (366)$$

$$x_1(0) = 1 \text{ und} \quad (367)$$

$$x_2(0) = 3,857. \quad (368)$$

Die einzelnen Verläufe können nun in der Tabelle auf S. 177 abgelesen werden. Die wirtschaftliche Aktivität der beiden Länder bewegt sich damit ab der dritten Periode nicht mehr auf dem Gleichgewichtspfad. Die Rohstoffkoeffizienten wären dann

$$x_1(3) = 3, \quad (369)$$

$$x_2(3) = 6,5 \text{ und} \quad (370)$$

$$x(3) = 5,17. \quad (371)$$

1. Vgl. Schmid, Josef, a.a. O., S. 57, 79 und Schimmang, Wolf, a.a.O., S. 133.

Land 1 wäre somit an der Gesamtnachfrage $RN(t)$ nur mit einem Sechstel beteiligt, würde allerdings im Engpaß in die gleichen Wachstumseinbrüche einbezogen wie das reichere rohstoffintensivere Land. Als positiv wäre die Tatsache zu bewerten, daß die Entwicklungsländer, hier definiert als Länder mit niedrigem Einkommen und Rohstoffkoeffizienten, vor Fehlentwicklungen bewahrt werden, die die Industrieländer hinter sich haben. Es spricht allerdings einiges dafür, daß Senkungen von $x(t)$ auf niedrigem Niveau schwerer durchführbar sind als auf hohem Niveau.

Es wäre also zusammenfassend festzustellen, daß der Weltrohstoffkoeffizient weitgehend von den reichen Ländern beeinflußt wird, die damit auch für die frühzeitige Verknappung des Rohstoffangebotes verantwortlich sind.

4. Es wird nun unterstellt, daß das ärmere Land einen niedrigeren Flexibilitätsindex als das reichere Land hat. Das ärmere Land wird dann zwar wie im vorherigen Fall früher als in Autarkie von Rohstoffverknappungen betroffen, hat allerdings auch die Chance, durch die internationale Arbeitsteilung an der höheren Flexibilität des reicheren flexibleren Landes teilzuhaben. Da das inflexiblere Land weniger als das flexiblere Land dazu fähig ist, sich dem Rohstoffangebot anzupassen, wird die Rohstoffnachfrage RN_1 in Zeiten des relativen Rohstoffüberflusses weniger ansteigen als RN_2 und umgekehrt wird RN_1 um weniger sinken als RN_2 , wenn die Rohstoffe knapp werden. Die Anteile der beiden Länder an der Gesamtnachfrage $RN(t)$ sind also durch die unterschiedliche Flexibilität der beiden Länder variabel. Während in der Zeit des relativen Rohstoffüberflusses der Anteil des inflexibleren Landes zurückgeht, nimmt er in Zeiten der Rohstoff-

verknappung zu. Damit muß der Rohstoffverbrauch im inflexibleren Land relativ weniger zurückgehen als dies im Autarkiefall notwendig wäre. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß weder Devisenprobleme noch fixe Nachfragequoten bei den Rohstoffen die inflexibleren Länder daran hindern, ihre Nachfrageanteile auszudehnen. Geht man von dem Zahlenbeispiel auf der nächsten Seite aus, welches von gleichen Wachstumsraten auf den Gleichgewichtspfaden ausgeht, dann paßt sich das inflexiblere Land mittelfristig schneller an den langfristig angestrebten Pfad an, vice versa das flexiblere Land. Die Flexibilität im Weltdurchschnitt bleibt allerdings dadurch nicht konstant, sondern sie nähert sich in Zeiten des Rohstoffüberflusses der höheren Flexibilität des Landes 2, und in Zeiten, in denen Verknappungstendenzen herrschen, nähert sich die durchschnittliche Flexibilität immer mehr der Flexibilität des Landes 1 an. Diese Vorgänge sind in der Veränderung der Marktanteile des Landes 1 ablesbar:

t = 0	10 %	Marktanteil
= 1	7,93 %	"
= 2	6,98 %	"
= 3	6,98 %	"
= 4	8,42 %	"
= 5	8,88 %	"

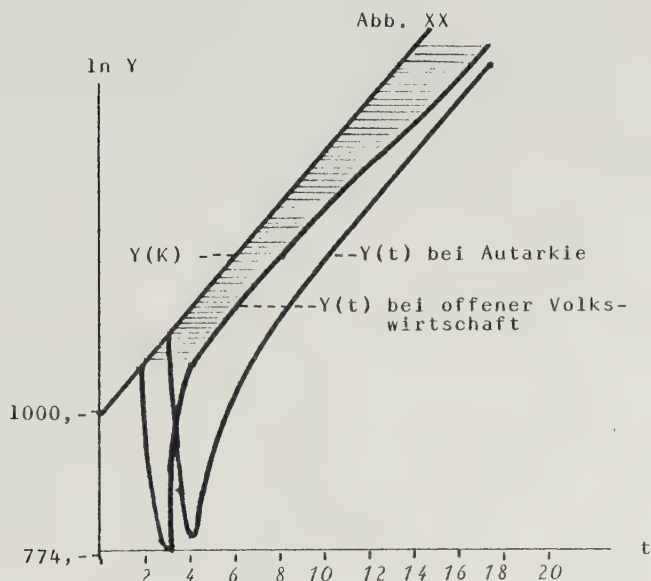
Die anfängliche Verkleinerung des Marktanteils bedeutet eine Erhöhung der durchschnittlichen Flexibilität, da die Weltnachfrage stärker von flexibleren Ländern abhängt. Nimmt der Marktanteil des Landes 2 wieder zu, dann nimmt auch ϵ ab.

5. Zahlenbeispiel für einen 2 Länder-Modell mit $\epsilon_1 = 0,5$ und $\epsilon_2 = 1$

t	x(t)		RN(t)		V*	Y(t)		Y{ $\epsilon=1$ } - Y(t)
	x ₁ (t)	x ₂ (t)	RN ₁	RN ₂		Y ₁	Y ₂	
0	1,000	3,857	300	2700	5000	300	700	0
1	1,291	6,429	407	4729	4756	315	736	0
2	1,295*	7,387*	491	6536	4524	332	774	0
3	1,295	7,387	451	6008	4304	232	542	16
4	1,056	4,922	387	4207	4094	327	761	17
5	0,998	4,382	384	3939	3894	347	816	5
6	0,947	3,949	384	3732	3704	365	851	5
7	0,899	3,556	383	3532	3523	383	894	7
8	0,853	3,201	382	3343	3352	403	940	7
9	0,809	2,881	381	3163	3188	423	988	8
10	0,767	2,593	379	2993	3033	445	1038	9

Siehe hierzu die Tabelle auf S. 177. * bedeutet, daß die Rohstoffkoeffizienten nur teilweise wie geplant erhöht wurden, damit die Einkommenspläne noch erfüllt werden konnten.

Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, wird $Y(t)$ bei einem geringen Marktanteil des inflexiblen Landes an der Rohstoffnachfrage sehr stark durch das flexible Land geprägt, was durch einen Vergleich der Tabellen auf Seite 177 und 186 festgestellt werden kann. Betrachtet man die letzte Spalte der Tabelle, dann beobachtet man, daß die Unterschiede langfristig wieder größer werden. Das inflexiblere Land strebt damit mittelfristig einen höheren Entwicklungspfad der wirtschaftlichen Aktivität an als dies bei Autarkie möglich wäre. Auf lange Frist jedoch wird das inflexiblere Land durch seine eigene Flexibilität bedingt, einen niedrigeren Entwicklungspfad anstreben. Der Wachstumsverlauf der wirtschaftlichen Aktivität in dem inflexibleren Land I kann deshalb für eine offene und autarke Wirtschaft wie folgt abgebildet werden:



6. Resümee

Teilen sich zwei Länder mit verschiedenen Flexibilitäten das Weltangebot eines bestimmten Rohstoffes, dann bringt ein offener Welthandel für beide Vor- und Nachteile, wenn man von dem Engpaßansatz ausgeht. Das inflexiblere Land erleidet kurzfristig einen Nachteil, da der Zeitpunkt der Rohstoffverknappung für es früher liegt als bei einer autarken Volkswirtschaft, eine Aufteilung des Rohstoffangebotes nach der Relation der Volkseinkommen vorausgesetzt. Vice versa beim flexibleren Land. Die Vorteile für das inflexiblere Land liegen allerdings darin, daß es den langfristigen Entwicklungspfad der wirtschaftlichen Aktivität, der bei Autarkie gelten würde, mit seinem Volkseinkommen übersteigen und sich dann asymptotisch dem langfristigen Entwicklungspfad nähern kann. Bei Autarkie würde dieser Pfad nicht überschritten, sondern die wirtschaftliche Aktivität würde ihn langfristig asymptotisch anstreben. Das flexiblere Land erleidet hier einen Nachteil, da sich auf diesem Weltrohstoffmarkt auf lange Frist der Flexibilitätsindex des inflexibleren Landes durchsetzt. Es wurde angenommen, daß beide Länder die gleichen Wachstumsraten planen und folglich ihre Anteile am Welteinkommen konstant bleiben. Das Welteinkommen folgt aber langfristig einem durch den minimalen Flexibilitätsindex bestimmten Entwicklungspfad. Da die Anteile am Welteinkommen konstant sind, ist das langfristige Einkommen für das flexiblere Land bei einer offenen Volkswirtschaft geringer als in Autarkie. Das Know how, was sich bei den Industrieländern in einer hohen Flexibilität niederschlagen kann, nützt damit auch inflexibleren Entwicklungsländern, da deren Verbrauch dann weniger zurückgehen muß als in Autarkie.

§ 4 Umweltfaktoren als Engpaßvariable

In den bisherigen engpaßtheoretischen Ansätzen wurde jeweils von einem Rohstoff- bzw. Schadstoffkoeffizienten ausgegangen. Diese Annahme wird nun aufgehoben und die Wirkung von mehreren Umweltkoeffizienten auf die wirtschaftliche Aktivität und ihre Umweltabhängigkeit analysiert.

A. Disaggregation von Schadstoff- und Rohstoffkoeffizienten

Geht man realistischerweise davon aus, daß die wirtschaftliche Aktivität durch mehrere Umweltkoeffizienten mit der Umwelt verbunden ist, dann müssen die Ergebnisse der vorangegangenen engpaßtheoretischen Ansätze, welche jeweils einen Schadstoff- bzw. Rohstoffkoeffizienten berücksichtigten, modifiziert werden.

Sind in $t = 0$ mehrere Umweltfaktoren relativ frei, dann wird der Umweltverbrauch weniger ansteigen als in den nichtmodifizierten Ansätzen, da das Einkommen, welches aufgrund der Umweltfaktoren möglich ist, auf mehrere Umweltfaktoren zurückzuführen ist. Es wird deshalb die Verhaltenshypothese für Umweltkoeffizienten wie folgt modifiziert:

$$Dz = z(t) \exp \left\{ \frac{\epsilon}{s} \ln \frac{Y(Z)}{Y(K)} \right\}, \quad (372)$$

wobei $Z(t)$ als Umweltfaktor und s als Anzahl der Umweltfaktoren definiert ist, die das gleiche Einkommen $Y(Z)$ ermöglichen. z ist als Umweltkoeffizient definiert. Der Aufstieg eines Umweltkoeffizienten $z_i(t)$ wird dann stark abgeflacht, wenn er gegenüber den anderen Umweltkoeffizienten nur ein relativ kleines Volkseinkommen zuläßt, vorausgesetzt die Flexibilität sei bei allen Umweltkoeffizienten gleich. M.a.W., der Auftrieb eines Umweltkoeffizienten wird dann am stärksten gebremst, wenn die Gefahr besteht, daß dieser Faktor sehr schnell

sich zu einem Engpaßfaktor für die wirtschaftliche Aktivität entwickeln kann. Beeinträchtigen die Umweltkoeffizienten die wirtschaftliche Aktivität in ihrer Entwicklung, dann wird der Umweltkoeffizient des restriktivsten Engpaßfaktors am stärksten fallen. Bezeichnet man nun s als die Anzahl der Engpaßvariablen, wobei $Z_1(t)$ die restriktivste und $Z_s(t)$ die schwächste Engpaßvariable ist. In der ersten Phase der Einkommensentwicklung soll gelten,

$$Y(\underline{Z}) > Y(K), \quad (373)$$

wobei $\underline{Z}$ den Vektor der Engpaßfaktoren Z darstellt. Für diese Phase gelten nun folgende Wachstumsraten für die Umweltkoeffizienten $z(t)$:

$$w_{Z_1} = \frac{\varepsilon_1}{s} \ln \frac{Y(Z_1)}{Y(K)}, \quad (374)$$

$$w_{Z_2} = \varepsilon_2 \left\{ \frac{1}{s} \ln \frac{Y(Z_1)}{Y(K)} + \frac{1}{s-1} \ln \frac{Y(Z_2)}{Y(Z_1)} \right\}, \quad (375)$$

$$\begin{aligned} w_{Z_s} = & \varepsilon_3 \left\{ \frac{1}{s} \ln \frac{Y(Z_1)}{Y(K)} + \frac{1}{s-1} \ln \frac{Y(Z_2)}{Y(Z_1)} + \dots \right. \\ & \left. + \frac{1}{s-1} \ln \frac{Y(Z_{i+1})}{Y(Z_i)} + \dots + \ln \frac{Y(Z_s)}{Y(Z_{s-1})} \right\}. \end{aligned} \quad (376)$$

$$\text{Für } Y(\underline{Z}) < Y(K), \text{ gilt dann} \quad (377)$$

$$\begin{aligned} w_{Z_1} = & \varepsilon_1 \left\{ \ln \frac{Y(Z_1)}{Y(Z_2)} + \frac{1}{2} \ln \frac{Y(Z_2)}{Y(Z_3)} + \dots \right. \\ & \left. + \dots + \frac{1}{s} \ln \frac{Y(Z_s)}{Y(K)} \right\}, \end{aligned} \quad (378)$$

$$w_{Z_s} = \frac{\varepsilon_s}{s} \ln \frac{Y(Z_s)}{Y(K)}. \quad (379)$$

Modifiziert man nun den Flexibilitätsindex, so daß

$$w_{zi} = \epsilon_i^* \ln \frac{Y(Z_i)}{Y(K)}, \quad (380)$$

dann bleibt die modifizierte Flexibilität im Zeitablauf nicht mehr konstant. Die modifizierte Flexibilität ϵ^* ist allerdings immer kleiner als ϵ . Der Abstand zwischen ϵ_i^* und ϵ_i ist bei Beachtung von GG. (373) umso größer, je restriktiver der Umweltfaktor Z_i gegenüber den anderen Umweltfaktoren für die wirtschaftliche Aktivität ist, m.a.W., je geringer das maximal mögliche Einkommen $Y(Z_i)$ ist. Damit wird der Anstieg des Umweltkoeffizienten $z_i(t)$ verlangsamt. Die Wirtschaftssubjekte werden somit vor allem dort den Verbrauch eines Umweltfaktors relativ stark erhöhen, wo sie nicht befürchten müssen, daß sie bald in Knappheitsprobleme geraten. Gilt schließlich GG. (377), dann ist der Abstand zwischen modifizierten und nicht-modifizierten Flexibilitätsindex umso geringer, je restriktiver der Umweltfaktor im Vergleich zu den anderen Umweltfaktoren für die wirtschaftliche Aktivität ist. Ökonomisch bedeutet dies, daß bevorzugt versucht wird, die Abhängigkeit der wirtschaftlichen Aktivität von den Umweltfaktoren zu senken, welche diese am stärksten vom Gleichgewichtspfad drängen. Jene Umweltkoeffizienten würden dann am stärksten sinken, deren Umweltfaktoren das Sozialprodukt am meisten nach oben begrenzt haben, vorausgesetzt ϵ ist für alle gleich.

Da sich die Reihenfolge der Wichtigkeit der Engpaßvariablen für die wirtschaftliche Aktivität ändern kann, können sich auch die modifizierten ε_i^* 's ändern:

wenn $Z_i \rightarrow Z_1$, folgt $\varepsilon_i^* \downarrow$ bei $Y(\underline{Z}) > Y(K)$,

$\varepsilon_i^* \uparrow$ bei $Y(\underline{Z}) < Y(K)$;

wenn $Z_i \rightarrow Z_s$, folgt $\varepsilon_i^* \uparrow$ bei $Y(\underline{Z}) > Y(K)$,

$\varepsilon_i^* \downarrow$ bei $Y(\underline{Z}) < Y(K)$.

(381)

Für $Z_1, Z_2, \dots, Z_s$ gilt

$$Y(Z_1) < Y(Z_2) < \dots < Y(Z_s). \quad (382)$$

Resümee

Drohen mehrerer Umweltfaktoren zu Engpaßvariablen der ökonomischen Aktivität zu werden, dann ist die Anpassungsfähigkeit der Wirtschaftssubjekte gegenüber diesen einzelnen Verknappungsproblemen geringer, als dies bei einem Engpaßfaktor möglich wäre. Ökonomisch stehen nun den Opportunitätskosten, die durch ein bestimmtes Abweichen vom Gleichgewichtspfad verursacht werden, nicht nur die Senkungskosten eines Umweltkoeffizienten gegenüber, sondern Senkungskosten für mehrere Umweltkoeffizienten. Der Anreiz, die einzelnen Umweltkoeffizienten zu senken, ist dann in der gleichen Ausgangssituation geringer als bei einem Engpaßfaktor. Der Anreiz zur Senkung des Umweltkoeffizienten wird allerdings bei dem Umweltfaktor am größten sein, der die größten Einkommenseinbußen verursacht. Allerdings gilt

$$\epsilon_1^* < \epsilon_1.$$

(383)

Der Anreiz, einen Umweltkoeffizienten zu erhöhen, wird am niedrigsten sein, wenn der betreffende Umweltfaktor relativ knapp ist und bald zum Engpaßfaktor zu werden droht. Der modifizierte Flexibilitätsindex ist damit variabel.

B. Entwicklungspfad der wirtschaftlichen Aktivität

1. Langfristig angestrebter Entwicklungspfad des Volkseinkommens

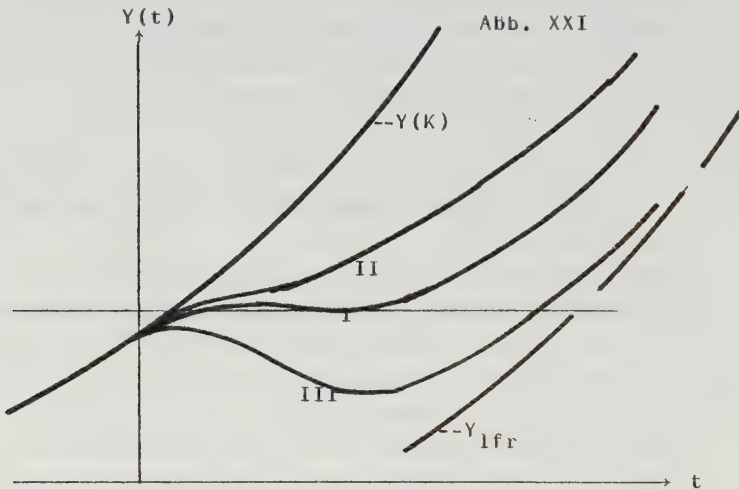
Geht man davon aus, daß der Flexibilitätsindex der Wirtschaftssubjekte in Bezug auf die Umweltfaktoren verschieden ist, dann hängt der Verlauf des Volkseinkommens langfristig vom niedrigsten Flexibilitätsindexwert ab. Nimmt man nun an wie zuvor erwähnt, daß die modifizierten Flexibilitäten variabel sind und den Abbau akuter Engpaßkoeffizienten beschleunigen, dann nähern sich die Einkommenspfade gegenseitig an, was wiederum auch eine Annäherung der modifizierten Flexibilitäten hervorruft. Der langfristige Einkommenspfad wird dann durch folgende modifizierte Flexibilität geprägt:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \epsilon^* = \frac{\epsilon}{s}. \quad (384)$$

2. Bedeutung der Lage des Engpaßfeldes für den Einkommensverlauf

Für eine Volkswirtschaft ist es sehr wesentlich, wie Lage und Form des intertemporalen Engpaßfeldes sind. Ein Engpaßfeld gibt an, zu welchem Zeitpunkt, welche Umweltfaktoren zu Engpaßfaktoren der wirtschaftlichen Aktivität werden. Werden nun sehr viele Umweltfaktoren innerhalb eines kleinen Zeitraumes zu Engpaßfaktoren der wirtschaftlichen Aktivität, m.a.W., hat man es mit einem zeitlichen Bündel von Engpässen zu tun, dann verringern sich die mittelfristigen Wachstumschancen des Sozialprodukts.

Um die Bedeutung der Lage des Engpaßfeldes zu verdeutlichen, werden verschiedene idealisierte Einkommensverläufe dargestellt:



Verlauf I, aber vor allem Verlauf III läßt vermuten, daß die wirtschaftliche Aktivität ein stark verdichtetes Engpaßfeld durchläuft. Dies bedeutet, daß innerhalb kurzer Zeit von den Wirtschaftssubjekten auf vielen Gebieten starke strukturelle Veränderungen abgefordert werden. Solche starken Korrekturen der Richtung der wirtschaftlichen Aktivität werden von den Wirtschaftssubjekten allerdings erst dann vorgenommen, wenn ihre Opportunitätskosten entsprechend hoch sind. Und diese wiederum sind sehr hoch, wenn sie von der Realisierung ihrer Einkommenspläne weit abgedrängt werden. Das Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität wird sich in dieser Zeit verlangsamen und kann sogar negativ werden. Diese Phase ist durchaus denkbar in einer Wohlfahrtsgesellschaft, die die Kräfte

der Natur übermäßig belastet und sich ab einem gewissen Zeitpunkt umbesinnen muß, was durch Kostenerhöhungen und Produktivitätsverluste gefördert wird. Nullwachstum bzw. organisches Wachstum waren allerdings bereits Forderungen der ersten beiden Berichte an den Club of Rome¹⁾. Während aber in den Berichten Nullwachstum bzw. organisches Wachstum Voraussetzung für eine umweltbewußte wirtschaftliche Aktivität waren, ist hier die Phase des organischen Wachstums bzw. Nullwachstums das Ergebnis der umweltbewußten Umstrukturierungen der wirtschaftlichen Aktivität. Die Kausalketten der ersten beiden Berichte an den Club of Rome und des hier entwickelten Engpaßansatzes sind also in diesem Punkt genau gegengerichtet. Folglich ist Nullwachstum nicht das Endziel der wirtschaftlichen Aktivität wie beim Club of Rome, vielmehr eine Übergangsphase. Die Umweltrestriktionen im Rohstoff- und Emissionsbereich stören die Einkommenspläne der Volkswirtschaft und verursachen damit für sie Opportunitätskosten. Diese Opportunitätskosten veranlassen die Wirtschaftssubjekte nach Lösungsmöglichkeiten zu suchen, die Umweltabhängigkeit der wirtschaftlichen Aktivität zu senken. Dies gelingt ihnen bei gegebenen Opportunitätskosten umso besser, je flexibler sie sind. Die Wahrscheinlichkeit für eine Nullwachstumsphase der wirtschaftlichen Aktivität erhöht sich dann, wenn die Opportunitätskosten auf viele Umweltfaktoren zurückzuführen sind und der Abstand zu den Einkommensplänen der Wirtschaftssubjekte sich vergrößern muß, die Opportunitätskosten somit ansteigen müssen, um die Umweltabhängigkeit der wirtschaftlichen Aktivität zu senken. Steigende Opportunitätskosten sind allerdings nur dann möglich, wenn bei einem ansteigenden Gleichgewichtspfad $Y(K)$ das durch die Umweltrestriktionen

1. Vergleiche hierzu die Berichte an den Club of Rome in Kapitel II.

bestimmte $Y(Z_1)$ schwächer ansteigt oder notfalls sogar konstant bleibt. Die Chancen für positives Wachstum in der Übergangsphase vergrößern sich dann, wenn der Eintritt der Umweltfaktoren als Engpaßfaktoren der wirtschaftlichen Aktivität gleichmäßiger über die Zeit verteilt ist. Verlauf II wäre mit solch einer Situation vergleichbar.

C. Resümee

Ob Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität auf Dauer möglich sein wird, kann nicht allgemein mit ja oder nein beantwortet werden. Dieses Problem hängt davon ab, inwieweit die Wirtschaftssubjekte fähig sind, die wirtschaftliche Aktivität an den Umweltrestriktionen vorbeizusteuern. Nimmt diese Fähigkeit durch das Auftreten vieler Engpaßfaktoren ab, dies wurde im Engpaßansatz vorausgesetzt, dann vermindern sich durch die Umweltrestriktionen die Wachstumschancen der wirtschaftlichen Aktivität. Langfristig allerdings kann Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität wieder möglich sein.

§ 5 Engpaßansatz mit kurzfristigen Substitutionsmöglichkeiten

A. Einbau der CES-Funktion in den Engpaßansatz

Eine Hauptursache, daß es bei den Umstrukturierungen der wirtschaftlichen Aktivität zu absoluten Einbrüchen beim Sozialprodukt kam, lag u.a. in der Annahme begründet, daß kurzfristig keine Substitution zwischen den Umweltfaktoren möglich war ¹⁾. Diese Annahme soll nun aufgehoben werden, indem eine Substitutionselastizität $\sigma < 1$ eingeführt wird. Zu diesem Zweck wird eine Produktionsfunktion vom CES-Typ eingeführt wie sie auch bei Solow verwandt wurde ²⁾:

$$Y(t) = \left(a \cdot V^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + b \cdot Z^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}, \quad (385)$$

wobei unter $V(t)$ der Verbrauch eines Umweltfaktors, unter a und b Distributionsparameter und unter Z eine Funktion aus Kapital und Arbeit verstanden wird. σ gibt dann die Substitutionselastizität zwischen $V(t)$ und $Z(t) = f(K, A)$ wieder.

1. Ableitung der partiellen Produktionselastizitäten

Die partiellen Produktionselastizitäten sind in der Literatur ³⁾ wie folgt definiert:

$$\alpha(t) = Y'(V) \frac{V(t)}{Y(t)}, \text{ wobei} \quad (386)$$

$$Y'(V) = \frac{\sigma}{\sigma-1} \left(a V^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + b Z^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1} \cdot \frac{\sigma-1}{\sigma}} \cdot \frac{\sigma-1}{\sigma} a V^{-\frac{1}{\sigma}} \quad (387)$$

1. Da die Umweltdefinition sehr weit gefaßt wurde, sind Bevölkerung, Kapital, Umweltqualität und Rohstoffe als Umweltfaktoren zu verstehen.

2. Vgl. Solow, Robert M., "Resources...", a.a.O., S. 5ff.

3. Vgl. Rose, Klaus, a.a.O., S. 72, 106

Potenziert man GG. (385) mit $\frac{1}{\sigma}$ und setzt dann diesen Ausdruck in GG. (387) ein, dann ergibt sich

$$Y'(V) = Y^{\frac{1}{\sigma}} \cdot a \cdot V^{-\frac{1}{\sigma}}, \text{ bzw.} \quad (388)$$

$$\alpha(t) = a \left(\frac{Y(t)}{V(t)} \right)^{\frac{1-\sigma}{\sigma}}, \quad (389)$$

wenn man Gleichung ((386) berücksichtigt. Analog kann nun auch bei $\beta(t)$ vorgegangen werden,

$$\beta(t) = b \left(\frac{Y(t)}{Z(t)} \right)^{\frac{1-\sigma}{\sigma}}. \quad (390)$$

2. Ableitung der Wachstumsraten

Die Wachstumsrate des Sozialprodukts wird nun auf die gleiche Art und Weise errechnet wie bei der Cobb-Douglas-Funktion¹⁾:

$$DY = Y'(V)DV + Y'(Z)DZ. \quad (391)$$

Beachtet man nun GG. (386) und (388), dann folgt

$$w_Y(t) = \alpha(t)w_V + \beta(t)w_Z. \quad (392)$$

Da Arbeit und Kapital gleichgewichtig wachsen sollen, wird angenommen, daß

$$w_Z = n+F. \quad (393)$$

Daraus folgt

$$w_Y(t) = \alpha(t)w_V + \beta(t)(n+F), \text{ wobei} \quad (394)$$

$$\alpha + \beta = 1. \quad (395)$$

1. Vgl. das neoklassische Solow-Modell in Kap. II.

3. Zeitliche Veränderung der partiellen Produktionselastizität des Umweltverbrauchs $V(t)$
Geht man davon aus, daß der Umweltverbrauch $V(t)$ langfristig und mittelfristig folgenden Verlauf annimmt,

$$V(t) = V(0)\exp(-\frac{1}{T}t), \quad (396)$$

dann muß der Verbrauch mit der Rate $\frac{1}{T}$ abnehmen. Mit diesem Verlauf des Umweltverbrauchs verändert sich die Relation der partiellen Produktionselastizitäten, denn $Z(t)$ hat folgenden Verlauf:

$$Z(t) = Z(0)\exp((n+F)t). \quad (397)$$

Daraus folgt

$$\frac{\alpha(t)}{\beta(t)} = \frac{\alpha(t)}{1-\alpha(t)} = \frac{a}{b} \left(\frac{Z(t)}{V(t)} \right)^{\frac{1-\sigma(t)}{\sigma(t)}}, \quad (398)$$

wenn man GG. (389) und (390) beachtet.

$$\frac{\alpha(t)}{\beta(t)} = \frac{a}{b} \left(\frac{Z(0)}{V(0)} \right)^{\frac{1-\sigma(t)}{\sigma(t)}} \cdot \exp\left\{(n+F+\frac{1}{T})\frac{1-\sigma(t)}{\sigma(t)} \cdot t\right\}. \quad (399)$$

Geht man davon aus, daß für $t > 0$ GG.(396) gilt, dann verändert sich die Relation wie folgt:

$$\frac{D\left(\frac{\alpha(t)}{\beta(t)}\right)}{\frac{\alpha(t)}{\beta(t)}} = (n+F+\frac{1}{T})\frac{1-\sigma(t)}{\sigma(t)}. \quad (400)$$

Da

$$\begin{aligned} D\left\{\frac{\alpha(t)}{\beta(t)}\right\} &= \frac{D\alpha(t)\beta(t) - D\beta(t)\alpha(t)}{\beta(t)^2}, \\ &= \frac{D\alpha(t)\{\beta(t) + \alpha(t)\}}{\{1-\alpha(t)\}^2}. \end{aligned} \quad (401)$$

Unter Berücksichtigung von GG. (400) und (401) kann nun die zeitliche Veränderung der partiellen Produktionselastizität des Umweltverbrauchs $V(t)$ wie folgt beschrieben werden:

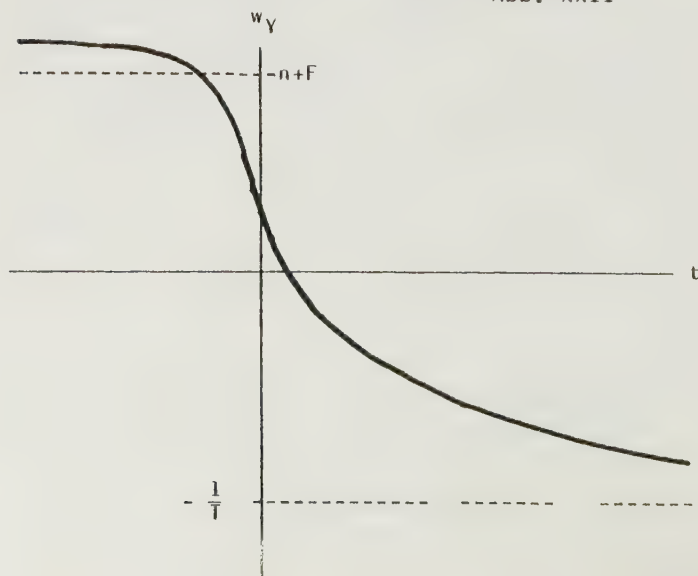
$$w_{\alpha}(t) = \{1 - \alpha(t)\} \frac{1 - \sigma(t)}{\sigma(t)} \left(n + F + \frac{1}{T}\right). \quad (402)$$

Je kleiner $\alpha(t)$, je kleiner die Substitutionselastizität $\sigma(t)$ und je größer $n+F$ und $\frac{1}{T}$ sind, desto größer wird w_{α} sein.

$$w_{\alpha}(t) > 0, \text{ da } \alpha < 1 \text{ und } \sigma < 1. \quad (403)$$

Dies gilt allerdings nur für $t > 0$. Ist $t < 0$, dann kann in Anlehnung an die vorhergehenden Engpaßansätze angenommen werden, daß der Rohstoffverbrauch beispielsweise temporär stärker steigen kann als $n+F$. Für diese temporäre Phase wäre dann der dritte Term von GG. (402) negativ, und dieser Umweltfaktor würde damit in dieser Phase für die wirtschaftliche Aktivität an Bedeutung verlieren. Der Verlauf der Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität kann nun wie folgt abgebildet werden:

Abb. XXII



B. Substitutionshypothese

1. Die Substitutionselastizität wird endogenisiert und ihre Homogenität aufgegeben. Es wird nun zwischen der Durchschnittselastizität σ und einer variablen Elastizität $\sigma^*(t)$ unterschieden. GG. (398) und (399) kann wie folgt geschrieben werden:

$$\frac{a}{b} \left(\frac{Z(t)}{V(t)} \right)^{\frac{1-\sigma(t)}{\sigma(t)}} = \frac{a}{b} \left(\frac{Z(0)}{V(0)} \right)^{\frac{1-\sigma(0)}{\sigma(0)}} \exp \left[\left(n+F+\frac{1}{T} \right) \cdot \int_0^t \frac{1-\sigma^*(s)}{\sigma^*(s)} ds \right]. \quad (404)$$

Die Wachstumsrate der partiellen Produktionselastizität kann nun mit der variablen Substitutionselastizität σ^* ausgedrückt werden:

$$w_{\alpha}^* = (1-\alpha) \left(n+F+\frac{1}{T} \right) \frac{1-\sigma^*(t)}{\sigma^*(t)}. \quad (405)$$

2. Errechnung von w_{σ}

w_{σ} kann errechnet werden, wenn man w_{α}^* und w_{α} gleichsetzt. Zu diesem Zweck wird GG. (398) logarithmiert und nach der Zeit abgeleitet:

$$\ln \frac{\alpha(t)}{1-\alpha(t)} = \ln \frac{a}{b} + \frac{1-\sigma(t)}{\sigma(t)} \left\{ \ln \frac{Z(0)}{V(0)} + \left(n+F+\frac{1}{T} \right) t \right\}, \quad (406)$$

$$\frac{w_{\alpha}}{1-\alpha} = \frac{w_{\sigma}}{\sigma} \ln \frac{Z(t)}{V(t)} + \frac{1-\sigma(t)}{\sigma(t)} \left(n+F+\frac{1}{T} \right) \quad (407)$$

Setzt man w_{α}^* und w_{α} gleich, dann bleiben nach Kürzungen auf beiden Seiten folgende Ausdrücke stehen:

$$\frac{(n+F+\frac{1}{T})}{\sigma^*(t)} = \frac{n+F+\frac{1}{T} - w_0 \ln \frac{Z(t)}{V(t)}}{\sigma(t)} \quad (408)$$

Daraus folgt

$$\begin{aligned} w_0 &= \frac{(n+F+\frac{1}{T})(1-\frac{\sigma(t)}{\sigma^*(t)})}{\ln \frac{Z(t)}{V(t)}}, \\ &= \frac{1 - \frac{\sigma(t)}{\sigma^*(t)}}{t + \frac{\ln \frac{Z(0)}{V(0)}}{n+F+\frac{1}{T}}} \quad (409) \end{aligned}$$

Die Wachstumsrate der Substitutionselastizität geht damit gegen null, da sich der Nenner im Zeitablauf vergrößert:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} w_0 = 0. \quad (410)$$

3. Errechnung von $\sigma(t)$

Löst man GG. (406) nach der Substitutionselastizität auf, dann ergibt sich

$$\sigma(t) = \frac{1}{\frac{\ln \frac{\alpha(t)}{1-\alpha(t)} - \ln \frac{a}{b}}{\ln \frac{Z(t)}{V(t)}} + 1} \quad (411)$$

Berücksichtigt man dann GG. (404), dann folgt

$$\sigma(t) = \frac{1}{1 + \frac{\ln \frac{\alpha(0)}{1-\alpha(0)} + (n+F+\frac{1}{T}) \left(\frac{1-\sigma^*(s)}{\sigma^*(s)} ds - \ln \frac{a}{b} \right)}{\ln \frac{Z(t)}{V(t)}}} \quad (412)$$

Die Höhe der Substitutionselastizität $\sigma(t)$ hängt damit von der variablen Substitutionselastizität σ^* ab, die vor allem die Substitutionselastizität der Investitionen angibt.

4. Errechnung von $\sigma^*(t)$

Da angenommen wird, daß die Substitutionselastizität mit wirtschaftlichen Aktivitätssteigerungen erhöht werden kann, folgt ¹⁾

$$\sigma^*(t) = \sigma^*(0) \int_0^t w_{\sigma^*}(s) ds, \text{ wobei} \quad (413)$$

$$\sigma^*(t) = \sigma(0). \quad (414)$$

5. Substitutionselastizitätshypothese

Es wird nun angenommen, daß die Wirtschaftssubjekte bei ihren Investitionen versuchen werden, immer mehr den Engpaßfaktor $V(t)$ durch $Z(t)$ zu ersetzen. Die Bemühungen, die Substitutionselastizität σ^* in ihrer Wachstumsrate zu erhöhen, entstehen dann, wenn die Opportunitätskosten in einem Zeitpunkt t für den Engpaßfaktor $V(t)$ ein toleriertes Maß überschreiten. M.a.W., die $w_{\sigma^*}(t)$ wird sich dann erhöhen, wenn in der Periode t eine noch tolerierte Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität w_Y^* unterschritten wird,

$$Dw_{\sigma^*}(t) = \varepsilon\{w_Y^* - w_Y(t)\}, \quad (415)$$

$$\text{wobei } w_Y^* < n+F. \quad (416)$$

1. Es wird folglich von einer VES(=variable elasticity of substitution)-Produktionsfunktion ausgegangen.

Die Wachstumsrate der Substitutionselastizität, die wie folgt dargestellt werden kann:

$$w_{\sigma}^*(t) = \varepsilon \int_0^t \{w_Y^* - w_Y(s)\} ds, \quad (417)$$

wird dann nicht mehr gesteigert, wenn die Fühlbarkeitsschwelle für Produktivitätsminderungen des Kapitals wieder unterschritten wird. Daraus folgt

$$Dw_{\sigma}^* \geq 0, \text{ für } w_Y^* \geq w_Y(t). \quad (418)$$

Die Höhe der Wachstumsrate w_{σ}^* ist somit abhängig von den akkumulierten, nicht mehr tolerierten Produktivitätsverlusten des Kapitals, die als Opportunitätskosten des Engpaßfaktors $V(t)$ bezeichnet werden können, und der Flexibilität der Wirtschaftssubjekte.

C. Verläufe

1. Verlauf der partiellen Produktionselastizität des Umweltverbrauchs $\alpha(t)$

Die Entwicklung der wirtschaftlichen Aktivität hängt von der Entwicklung der partiellen Produktionselastizität des Engpaßfaktors ab. Geht man davon aus, daß die Substitutionselastizität in $t = 0$ kleiner eins ist und der Verbrauch des Engpaßfaktors abnehmen muß, dann nimmt die Wichtigkeit des Engpaßfaktors für die wirtschaftliche Aktivität zu, es sei denn, dieser wachstumsverlangsamende Prozeß beim Sozialprodukt kann durch erhöhte Substitutionselastizität bei den Investitionen gestoppt werden.

Dies kann wie folgt mathematisch dargestellt werden:

$$D\alpha \gtrless 0, Dw_Y \gtrless 0 \text{ für } \sigma^*(t) \gtrless 1. \quad (419)$$

Diese Beziehung ist ableitbar aus GG. (394), (395) und (405). $\sigma^* > 1$ bedeutet, daß die auseinanderklaffende Entwicklung von $Z(t)$ und $V(t)$ gestoppt werden kann, und zwar über die Investitionen. Der Verlauf der partiellen Produktionselastizität kann unter Beachtung von GG. (405) nun wie folgt dargestellt werden:

$$\frac{w_\alpha}{1-\alpha(t)} = \frac{D(\frac{\alpha}{1-\alpha})}{\frac{\alpha}{1-\alpha}}, \quad (420)$$

$$D(\frac{\alpha}{1-\alpha}) = \frac{\alpha}{1-\alpha} (n+F+\frac{1}{T})(\frac{1-\sigma^*}{\sigma^*}), \quad (421)$$

$$\frac{\alpha(t)}{1-\alpha(t)} = \frac{\alpha(0)}{1-\alpha(0)} \exp\left\{-(n+F+\frac{1}{T})\left(t-\int_0^t \frac{1}{\sigma^*} ds\right)\right\}. \quad (422)$$

Löst man nun GG. (422) nach der partiellen Produktionselastizität auf, dann ergibt sich

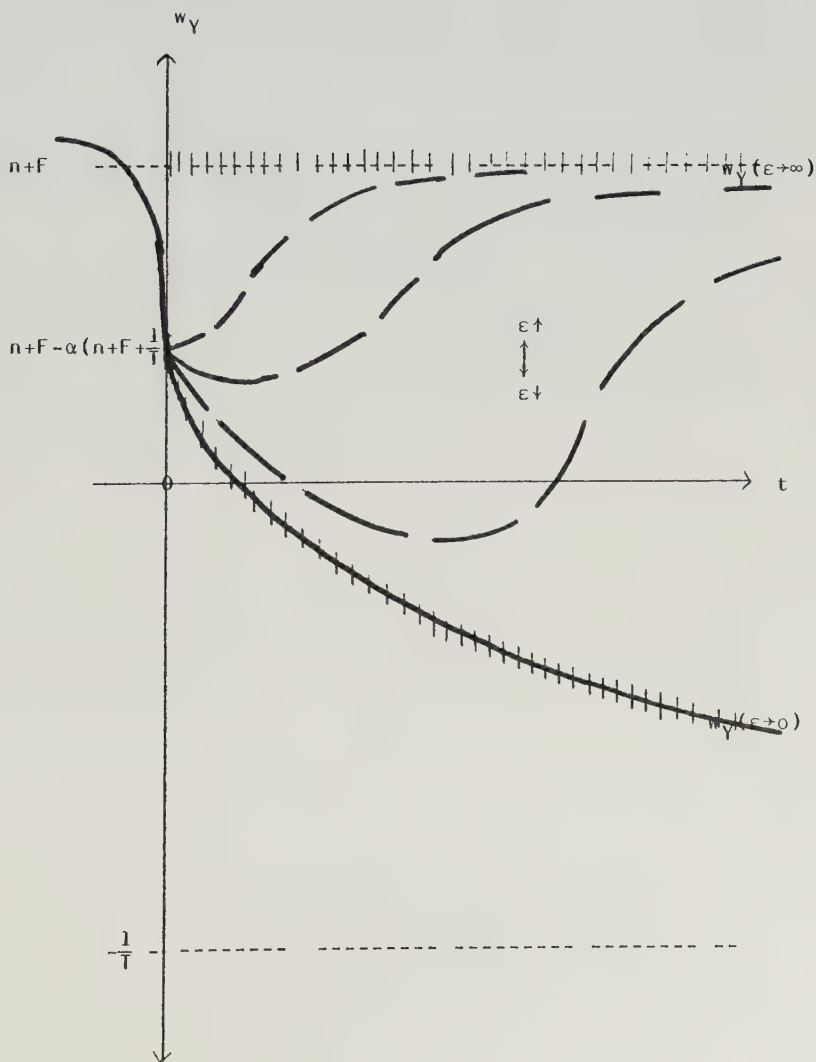
$$\alpha(t) = \frac{1}{1 + \frac{1-\alpha(0)}{\alpha(0)} \exp\left\{(n+F+\frac{1}{T})\left(t-\int_0^t \frac{1}{\sigma^*} ds\right)\right\}}. \quad (423)$$

Je größer nun die Flexibilität der Wirtschaftssubjekte ist, desto eher wird σ^* eins überschreiten und damit der α -Auftrieb gestoppt werden.

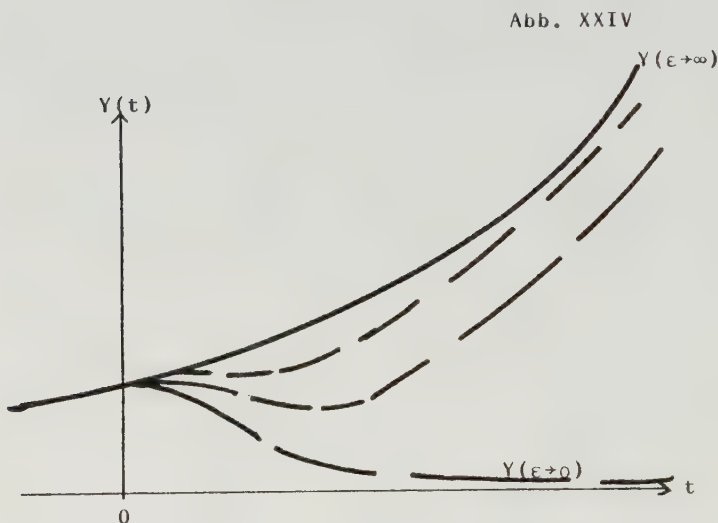
2. Verlauf der Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität

Wie bereits unter Punkt 1 festgestellt wurde, erreicht die Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität dann ihren Tiefpunkt, wenn die partielle Produktionselastizität des Engpaßfaktors ihren Höhepunkt erreicht hat. Je flexibler die Wirtschaftssubjekte sind, umso früher erreicht $\alpha(t)$ seinen Maximalpunkt und umso niedriger ist dieser. Je früher dieser Maximalpunkt kommt und je niedriger er ist, desto eher wird dann die Verlangsamung des Wachstums der wirtschaftlichen Aktivität gestoppt, desto höher ist damit der Tiefpunkt der Wachstumsrate und desto eher kann das Wachstum des Sozialprodukts wieder beschleunigt werden. Je inflexibler die Wirtschaftssubjekte sind, desto größer ist die Gefahr, daß es in bestimmten Phasen zu negativem Wachstum kommen kann. Geht der Flexibilitätsindex $\varepsilon \rightarrow 0$, dann strebt die Wachstumsrate des Sozialprodukts asymptotisch die negative Rate des möglichen Verbrauchs am Engpaßfaktor an. Strebt $\varepsilon \rightarrow \infty$, dann hat der Engpaßfaktor $V(t)$ keinen Einfluß auf die Wachstumsrate des Sozialprodukts. Der Einfluß der Flexibilität auf die Wachstumsrate w_Y wird graphisch in Abb. XXIII wiedergegeben.

Abb. XXIII



3. Verlauf der wirtschaftlichen Aktivität
Überträgt man nun die gewonnenen Erkenntnisse auf die Einkommenverläufe, dann ergibt sich folgendes Bild:



4. Verläufe der Koeffizienten $x(t)$ und $z(t)$
Solange nun $\sigma^*(t) < 1$, stößt der Abbau des Rohstoff- bzw. Schadstoffkoeffizienten an Substitutionsgrenzen¹⁾:

$$\lim_{\substack{\sigma^* < 1 \\ t \rightarrow \infty}} x(t) = x_{\min} \quad (424)$$

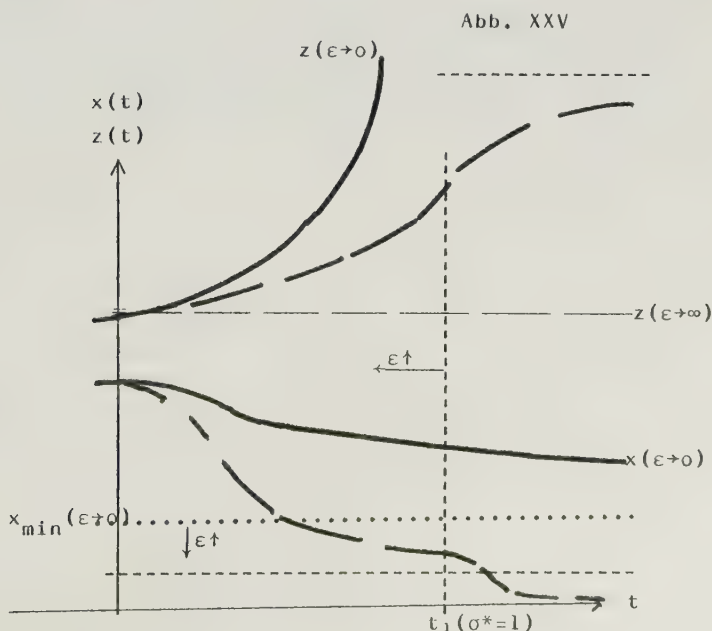
Die Ursache liegt darin, daß bei dieser Konstellation sich die Wachstumsrate des Sozialprodukts immer mehr der Abbaurate des Engpaßfaktors anpassen muß. Einsparungen dieses Umweltfaktors sind

Vgl. Rose, Klaus, a.a.O., S. 114

somit mit immer größeren Einkommenseinbußen verbunden, bis schließlich jede Einsparung an V nur noch durch eine entsprechende Senkung der wirtschaftlichen Aktivität möglich ist. In der gleichen Phase wird der andere Inputkoeffizient $z(t)$ größer, da $Z(t) = f(K, A)$ mit der Rate $n+F$ wächst und gleichzeitig $w_Y(t)$ immer kleiner wird, folglich

$$\lim_{\substack{t \rightarrow \infty \\ \sigma^* < 1}} \frac{Z(t)}{Y(t)} \rightarrow \infty. \quad (425)$$

Die Inputkoeffizienten können wie folgt in Abb. XXV dargestellt werden. Wie lange sich die Koeffizienten in die in den Gleichungen (424) und (425) festgelegte Richtung bewegen, hängt von der Flexibilität der Wirtschaftssubjekte ab. Je höher deren Flexibilität ist, desto schneller wird $\sigma^*(t) = 1$ überschritten und die Richtung der beiden aufgezeigten Koeffizienten korrigiert.



Es ergeben sich nun folgende Grenzwerte:

$$\lim_{\substack{\sigma^* > 1 \\ t \rightarrow \infty}} x(t) = 0, \quad (426)$$

$$\lim_{\substack{\sigma^* > 1 \\ t \rightarrow \infty}} z(t) = z_{\max}, \quad (427)$$

$$\text{wobei } \lim_{\varepsilon \rightarrow \infty} z_{\max} = z(0). \quad (428)$$

Je inflexibler die Wirtschaftssubjekte sind, desto höher wird der maximale Wert $z_{\max}$ ausfallen, da die Produktivitätsverluste beim Kapital sehr hoch sind. Je inflexibler die Wirtschaftssubjekte sind, desto schlechter läßt sich der Engpaßkoeffizient $x(t)$ reduzieren, da die Einsparungen dieses Faktors mit immer größeren Einkommensverlusten verbunden sind.

D. Zahlenbeispiele

Die Ergebnisse dieses Engpaßansatzes können verdeutlicht werden, wenn man ein Zahlenbeispiel mit verschiedenen Flexibilitäten durchrechnet.

1. Folgende Daten werden angegeben:

$$\frac{Z(0)}{V(0)} = 2, \quad (429)$$

$$n + F + \frac{1}{T} = 0,15, \quad (430)$$

$$w_Y^* = 0,045, \quad (431)$$

$$\frac{a}{b} = 0,125 \text{ und} \quad (432)$$

$$\sigma(0) = \sigma^*(0) = 0,5$$

2. Tabelle für $w_Y(t)$ und $\sigma(t)$ bei $\varepsilon=0,5(=1)$

	$\hat{\alpha}(t)$		$\hat{\sigma}^*(t)$		$\hat{\sigma}(t)$		$\hat{w}_\sigma$		$\hat{w}_Y$	
	$\varepsilon = 0$	$\varepsilon = 0,5$	$\varepsilon = 1$	$\varepsilon = 0,5$	$\varepsilon = 1$	$\varepsilon = 0,5$	$\varepsilon = 1$	$\varepsilon = 0$	$\varepsilon = 0,5$	$\varepsilon = 1$
0	0,200	0,200	0,200	0,50	0,50	0,500	0,500	0,00	0,00	2,00
1	0,225	0,225	0,224	0,51	0,51	0,501	0,502	0,20	0,39	1,62
2	0,252	0,251	0,249	0,52	0,54	0,502	0,505	0,53	1,01	1,22
3	0,282	0,277	0,272	0,54	0,59	0,505	0,511	0,93	1,75	0,78
4	0,313	0,304	0,292	0,56	0,67	0,508	0,520	1,12	2,53	0,31
5	0,346	0,329	0,313	0,59	0,78	0,514	0,534	1,41	3,29	-0,19
6	0,381	0,351	0,313	0,64	0,96	0,521	0,552	1,77	3,98	-0,71
7	0,417	0,369	0,313	0,71	1,22	0,530	0,574	2,18	4,55	-1,25
8	0,454	0,383	0,306	0,81	1,62	0,542	0,600	2,60	4,99	-1,80
9	0,491	0,390	0,294	0,94	2,25	0,556	0,630	2,99	5,28	-2,36
10	0,528	0,391	0,276	1,12	3,24	0,573	0,663	3,35	5,44	-2,93
11	0,566	0,387	0,256	1,38	4,84	0,592	0,698	3,66	5,48	-3,48
12	0,602	0,372	0,234	1,74	7,47	0,616	0,736	3,89	5,42	-4,03
13	0,637	0,353	0,212	2,25	11,91	0,642	0,776	4,06	5,31	-4,56
14	0,671	0,331	0,190	2,99	19,48	0,670	0,816	4,17	5,15	-5,07
15	0,703	0,307	0,169	4,05	32,61	0,700	0,858	4,22	4,96	-5,55
16	0,734	0,282	0,150	5,60	55,74	0,730	0,900	4,22	4,77	-6,01
17	0,762	0,256	0,132	7,90	96,94	0,762	0,942	4,18	4,58	-6,43
18	0,788	0,231	0,116	11,32	171	0,794	0,985	4,11	4,40	-6,82
19	0,812	0,208	0,102	16,47	306	0,827	1,028	4,02	4,22	-7,18
20	0,834	0,185	0,089	24,28	552	0,861	1,071	3,92	4,05	-7,51

In der Tabelle wurden die partielle Produktionselastizität und die variable Substitutionselastizität wie folgt geschätzt:

$$\hat{\alpha}(t) = \hat{\alpha}(t-1) \exp \left\{ \{1 - \hat{\alpha}(t-1)\} \left\{ n + F + \frac{1}{T} \right\} \frac{1 - \sigma^*}{\sigma^*} \right\}, \quad (433)$$

$$\hat{\sigma}^*(t) = \hat{\sigma}^*(t-1) \exp \left\{ \epsilon \{w_Y^* - w_Y(t-1)\} + w_{\sigma}^*(t-2) \right\}. \quad (434)$$

3. Verlauf der partiellen Produktionselastizität
Betrachtet man auf der Tabelle die erste Hauptspalte, dann kann man ersehen, daß mit zunehmender Flexibilität der Auftrieb von $\alpha(t)$ stärker verlangsamt wird, z.B.:

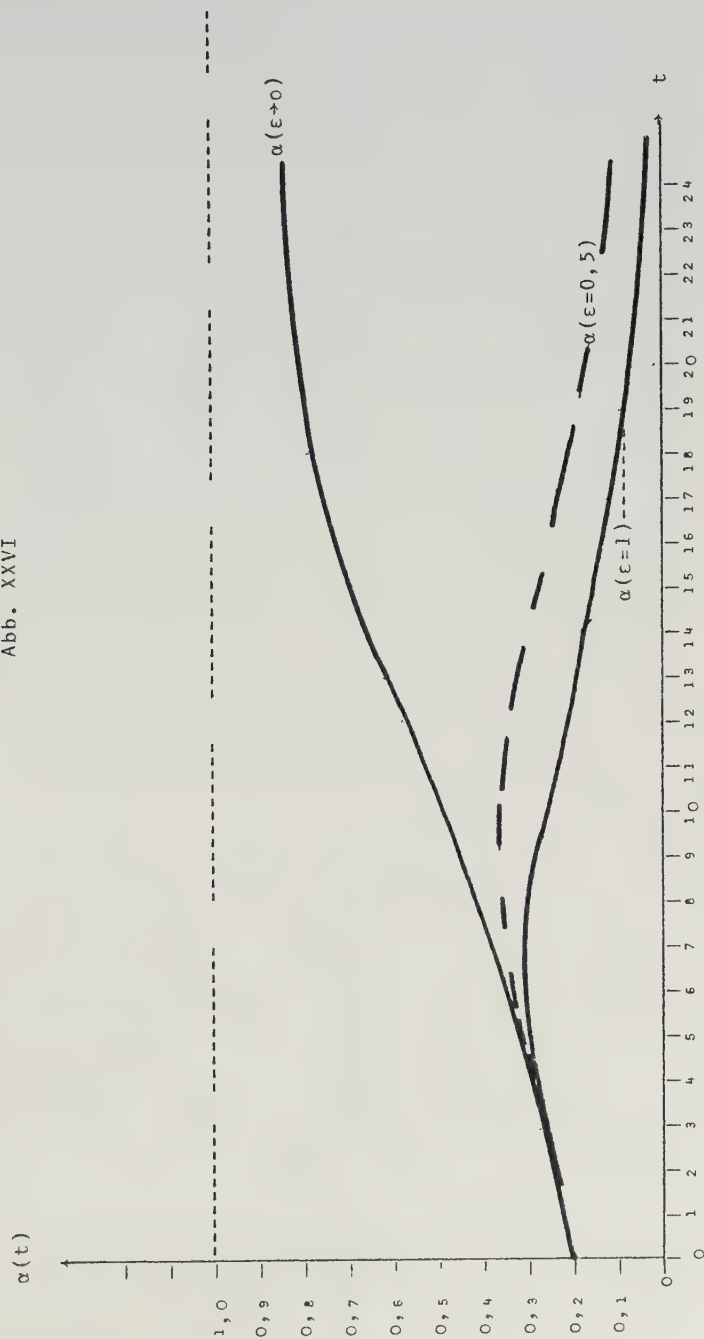
$$\begin{aligned} t = 7 \quad \epsilon = 0, \quad \alpha(t) &= 0,417. \\ &= 0,5, \quad = 0,369. \\ &= 1, \quad = 0,313. \end{aligned} \quad (435)$$

Je geringer die Flexibilität ist, desto später erreicht $\alpha(t)$ seinen Maximalpunkt. Im Extremfall $\epsilon=0$ liegt der Maximalpunkt im Unendlichen. Ferner wird dieser Maximalpunkt mit abnehmender Flexibilität größer, z.B.:

$$\begin{aligned} \epsilon = 0, \quad \alpha(t \rightarrow \infty)_{\max} &= 1,000. \\ \epsilon = 0,5, \quad \alpha(t=10)_{\max} &= 0,391. \\ \epsilon = 1,0, \quad \alpha(t=7)_{\max} &= 0,313. \\ \epsilon \rightarrow \infty, \quad \alpha(t \rightarrow 0)_{\max} &= 0,200. \end{aligned} \quad (436)$$

Je höher die Flexibilität ist, desto schneller wird auch wieder das Ausgangsniveau von $\alpha(t)$ erreicht. Die Verläufe werden nun in Abb. XXVI nochmals aufgezeigt.

Abb. XXVI



4. Verläufe der durchschnittlichen Substitutionselastizität

Wie aus der Tabelle, Spalte 3 zu ersehen ist, kann die Erhöhung von der partiellen Produktionselastizität gestoppt werden, obwohl die durchschnittliche Substitutionselastizität noch kleiner eins ist. Voraussetzung ist jedoch, daß σ^* größer eins wird. Die Wachstumsrate der Substitutionselastizität erreicht bei $\varepsilon=0,5$ ihren Höhepunkt in $t = 15$ mit $w_{\sigma} = 4,22 \%$ und bei $\varepsilon=1$ in $t=11$ mit $w_{\sigma} = 5,48 \%$. Die Wachstumsraten verlangsamen sich dann wieder.

5. Verläufe der Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität

Wie zu ersehen ist, würde sich die Wachstumsrate des Sozialprodukts mit t gegen unendlich der Abbaurate von $V(t)$ annähern, die im Beispiel

$$w_V = - 10 \%. \quad (437)$$

In einer inflexiblen Volkswirtschaft würde die Wachstumsrate in $t = 5$ schon negativ und hätte in $t = 50$ den Wert $w_Y(50) = - 9,97 \%$. Je höher nun die Flexibilität ist, desto kleiner werden die Phasen mit negativen Wachstumsraten, oder negative Wachstumsraten kommen überhaupt nicht mehr vor. So kommt es bei $\varepsilon = 0,5$ in 7 Perioden zu negativen Wachstumsraten, wobei der Tiefpunkt mit $w_Y(10) = -0,87 \%$ erreicht ist. Bei $\varepsilon=1$ dagegen ist die minimale Wachstumsrate $w_Y(6)=0,3 \%$. Die Verläufe bei den verschiedenen Flexibilitätsten sind in Abb. XXVII eingezeichnet. Die von den Wachstumsraten abgeleiteten Einkommensverläufe sind dann in Abb. XXVIII zu ersehen.

Abb. XXVII

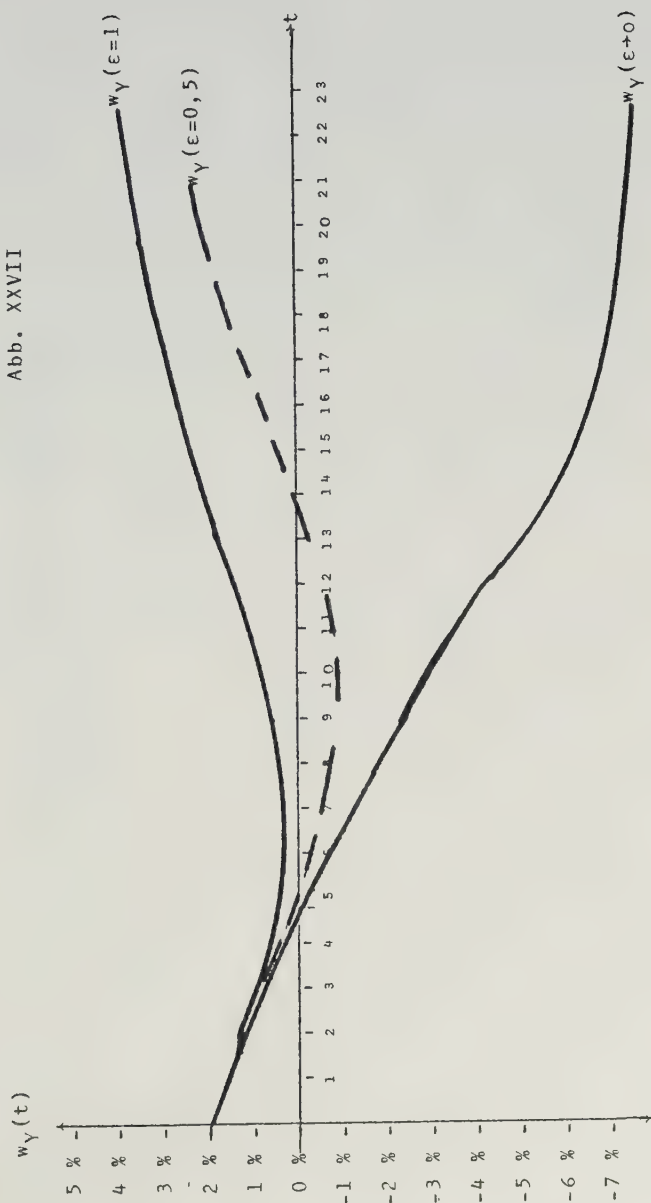


Abb. XXVIII



E. Resümee

Durch die Einführung der VES-Funktion mit $\sigma < 1$ verlangsamt sich die Wachstumsrate des Sozialprodukts, wenn der Umweltfaktor zu einem Engpaßfaktor für die wirtschaftliche Aktivität wird. Diese Verlangsamungsphase dauert umso länger, je weniger die Wirtschaftssubjekte fähig sind, die Substitutionselastizität der wirtschaftlichen Aktivität über ein bestimmtes Maß hinaus zu erhöhen. Außerdem nimmt die Gefahr eines absoluten Einkommensrückganges mit einer geringen Flexibilität zu.

Diese Verlangsamungsphase war in den vorangegangenen Engpaßansätzen nicht vorhanden, da dort von einer kurzfristigen Substitutionsfähigkeit zwischen einem Engpaßfaktor und einem anderen Produktionsfaktor abgesehen wurde. Folglich kam es dort bei Eintritt der Engpaßsituation in der Folgeperiode zu einem bedeutenden Einkommenseinbruch.

Je höher die Flexibilität ist, desto kürzer wird die Verlangsamungsphase der Wachstumsrate des Sozialprodukts sein und umso schneller wird sich die wirtschaftliche Aktivität in ihrer Wachstumsrate der gleichgewichtigen Rate $n+F$ annähern. Damit ist die Stabilität der Wachstumsrate $n+F$ langfristig gegeben.

Während bei einer konstanten Substitutionselastizität $\sigma < 1$ die Abhängigkeit der wirtschaftlichen Aktivität von einem bestimmten Engpaßfaktor nur begrenzt gesenkt werden konnte, da der Umweltkoeffizient nicht unter ein bestimmtes Niveau vermin-derbar war, ist dies bei einer variablen Substitutionselastizität durchaus möglich. Je höher die Flexibilität, desto schneller kann der Umweltkoeffizient reduziert werden und desto schneller strebt dieser asymptotisch gegen null.

§ 6 CES-Funktion mit endogenem umweltfreundlichen technischen Fortschritt¹⁾

In den bisher erwähnten engpaßtheoretischen Ansätzen wurde die Flexibilitätshypothese in ein Modell vom Harrod-Domar-Typ und in die Substitutionselastizität einer CES-Funktion eingefügt. Es wird nun die Entwicklung der wirtschaftlichen Aktivität und des Umweltkoeffizienten analysiert, indem man beim technischen Fortschritt in der CES-Funktion die Flexibilitätshypothese berücksichtigt. Ehe nun der umweltfreundliche technische Fortschritt endogenisiert wird, soll geprüft werden, welche Werte dieses Fortschrittes bedingungstheoretisch notwendig sind, um gleichgewichtiges Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität zu ermöglichen.

A. Ansatz bei exogenem umweltfreundlichen technischen Fortschritt

Es werden nun die Annahmen und Hypothesen von § 5, A übernommen, wobei allerdings der technische Fortschritt wie folgt eingeführt wird:

$$\frac{a(t)}{b(t)} = \frac{a(t)}{1-a(t)} = \frac{a(0)}{1-a(0)} \cdot \exp(-\eta t) \quad (438)$$

$$\text{und } \eta > 0. \quad (439)$$

Die Gleichungen (399) und (402) müssen dann wie folgt modifiziert werden:

$$\frac{\alpha(t)}{1-\alpha(t)} = \frac{a(0)}{b(0)} \left(\frac{z(0)}{v(0)} \right)^{\frac{1-\sigma}{\sigma}} \cdot \exp \left(\frac{1-\sigma}{\sigma} \left(n+F+\frac{1}{T} \right) t - \eta t \right), \quad (440)$$

$$w_{\alpha}(t) = \{1-\alpha(t)\} \left\{ \frac{1-\sigma}{\sigma} \left(n+F+\frac{1}{T} \right) - \eta \right\}. \quad (441)$$

1. Vergleiche hierzu das Solow-Modell mit knappen Ressourcen bei den neoklassischen Ansätzen.

Daraus folgt

$$w_{\alpha} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0, \text{ für } \eta \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} \frac{1-\sigma}{\sigma}(n+F+\frac{1}{T}). \quad (442)$$

Welche Werte der umweltfreundliche bzw. -sparende technische Fortschritt η annehmen muß, um eine konstante Wachstumsrate des Sozialprodukts zu ermöglichen, wird aus folgender Tabelle ersichtlich:

$n+F+\frac{1}{T}$	σ	0,1	0,33	0,50	0,66
0,05		0,45	0,10	0,05	0,025
0,10		0,90	0,20	0,10	0,050
0,15		1,35	0,30	0,15	0,075
0,20		1,80	0,40	0,20	0,100

Je kleiner die Substitutionselastizität und je größer $n+F+\frac{1}{T}$, desto größer muß η bei $D\alpha=0$ sein. Es wird nun geprüft, inwieweit die η -Werte für $D\alpha=0$ auch gleichgewichtiges Wachstum garantieren. Aus GG. (137) wird nun übernommen

$$w_Y = \alpha(w_a^* - \frac{1}{T}) + (1-\alpha)(w_{b^*}+n+F), \quad (443)$$

$$= \alpha(-\frac{\sigma}{1-\sigma}w_a - \frac{1}{T}) + (1-\alpha)(-\frac{\sigma}{1-\sigma}w_b + n+F). \quad (444)$$

Logarithmiert man nun GG.(438) und leitet sie nach der Zeit ab, dann erhält man

$$\frac{w_a}{1-a} = \frac{-w_b}{a} = -\eta. \quad (445)$$

Berücksichtigt man nun GG.(445) in GG.(444),
dann folgt daraus

$$\begin{aligned} w_Y(t) &= \alpha \left\{ \frac{\sigma}{1-\sigma} \{1-a\} \eta - \frac{1}{T} \right\} \{1-\alpha\} \left\{ \frac{-\sigma}{1-\sigma} \eta a + n + F \right\}, \\ &= \frac{\sigma \eta}{1-\sigma} (\alpha - a) + n + F - \alpha \left(n + F + \frac{1}{T} \right). \end{aligned} \quad (446)$$

Setzt man den Fortschrittswert ein, der $D\alpha=0$
ermöglicht, so ergibt sich

$$\begin{aligned} w_Y \Big|_{D\alpha=0} &= \left(n + F + \frac{1}{T} \right) (\alpha - a) + n + F - \alpha \left(n + F + \frac{1}{T} \right), \\ &= n + F - a \left(n + F + \frac{1}{T} \right). \end{aligned} \quad (447)$$

Die Wachstumsrate strebt dann gegen folgenden
Grenzwert:

$$\begin{aligned} \lim_{\substack{D\alpha=0 \\ \eta > 0 \\ t \rightarrow \infty}} w_Y(t) &= n + F. \end{aligned} \quad (448)$$

Die wirtschaftliche Aktivität strebt damit die
gleichgewichtige Wachstumsrate an, wenn es durch
den umweltfreundlichen technischen Fortschritt ge-
lingt, die Produktionselastizität α zu stabili-
sieren.

B. Endogenisierung des umweltfreundlichen technischen Fortschritts durch die Flexibilitätshypothese

1. Es wird nun wieder davon ausgegangen, daß Diskrepanzen zwischen dem tatsächlichen Einkommen, welches hier durch die CES-Funktion bestimmt wird, und dem geplanten Einkommen $Y(K)$ zu Opportunitätskosten bei den Wirtschaftssubjekten führen, wodurch diese veranlaßt werden, die Abhängigkeit vom Engpaßfaktor durch einen entsprechenden technischen Fortschritt zu reduzieren. Dies kann wie folgt beschrieben werden:

$$\frac{D\left(\frac{a}{1-a}\right)}{\frac{a}{1-a}} = \epsilon \ln \frac{Y(t)}{Y(K)}, \quad (449)$$

wobei $Y(t)$ durch GG.(385) und $Y(K)$ durch $Y(0)e^{(n+F)t}$ beschrieben werden kann. Inwieweit nun über die erwähnten Opportunitätskosten der gewünschte technische Fortschritt induziert werden kann, hängt von der Flexibilität der Wirtschaftssubjekte ab. Geht man davon aus, daß das tatsächliche Einkommen $Y(t)$ kleiner als das gewünschte Einkommen $Y(K)$ ist, dann gilt folgendes:

$$\frac{Y(t)}{Y(K)} < 1 \text{ und damit} \quad (450)$$

$$\ln \frac{Y(t)}{Y(K)} < 0. \quad (451)$$

Für GG. (449) gilt nun

$$\begin{aligned} \frac{D\left(\frac{a}{1-a}\right)}{\frac{a}{1-a}} &< 0, \\ &= -\eta. \end{aligned} \quad (452)$$

2. Auf lange Frist wird die wirtschaftliche Aktivität einem Parallelpfad von $Y(K)$ folgen, da ein bestimmtes Maß an Opportunitätskosten auf Dauer bestehen muß, um die Wirtschaftssubjekte zu veranlassen, sich für umweltfreundlichen technischen Fortschritt einzusetzen. Unter Beachtung von GG. (442) und GG. (449) muß dann gelten

$$-\epsilon \ln \frac{Y(t)}{Y(K)} = \frac{1-\sigma}{\sigma} (n+F+\frac{1}{T}), \quad (453)$$

$$\ln \frac{Y(t)}{Y(K)} = - \frac{1-\sigma}{\sigma} \cdot \frac{n+F+\frac{1}{T}}{\epsilon}. \quad (454)$$

Der langfristig angestrebte Entwicklungspfad der wirtschaftlichen Aktivität kann nun aus GG.(454) abgeleitet werden:

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} Y(t) &= Y(K) \exp \left(-\frac{1-\sigma}{\sigma} \cdot \frac{n+F+\frac{1}{T}}{\epsilon} \right), \\ &= Y(0) \exp \left\{ (n+F) t - \frac{1-\sigma}{\sigma} \cdot \frac{n+F+\frac{1}{T}}{\epsilon} \right\}, \\ &= Y(0) \exp \{ (n+F)(t-r^*) \}, \end{aligned} \quad (455)$$

$$\text{wobei } r^* = \frac{1-\sigma}{\sigma} \cdot \frac{1}{\epsilon} \left(1 + \frac{1}{T(n+F)} \right) \quad (456)$$

Je kleiner nun die Substitutionselastizität, je kleiner der Flexibilitätsindex und je kleiner $T(n+F)$, desto weiter wird dieser Parallelpfad von $Y(K)$ entfernt sein. Die wirtschaftliche Aktivität folgt dann mit einem großen Lag langfristig dem Gleichgewichtspfad $Y(K)$.

Vergleicht man nun GG. (456) mit GG. (334), dann ergibt sich folgende Beziehung:

$$r^* \gtrless r, \text{ wenn } \sigma \lesseqgtr 0,5. \quad (457)$$

3. Es wäre nun auch denkbar, daß

$$\ln \frac{Y(t)}{Y(K)} > 0. \quad (457)$$

Dies wäre dann möglich, wenn $V(t)$ stärker ansteigt als $Z(t)$. Die wirtschaftliche Aktivität würde dann höher als $Y(K)$ sein.

4. Sobald $V(t)$ zum Engpaßfaktor der wirtschaftlichen Aktivität wird, verlangsamt sich die Wachstumsrate des Sozialprodukts. Diese Wachstumsverlangsamung wird vermindert und schließlich umgekehrt, wenn es gelingt, den umweltfreundlichen technischen Fortschritt über ein bestimmtes Maß zu erhöhen. Dieser technische Fortschritt und damit auch die Opportunitätskosten, welche der Engpaßfaktor verursacht, müssen umso höher sein, je mehr die Entwicklung von $V(t)$ und $Z(t)$ auseinander läuft und je kleiner die Substitutionselastizität ist. Diese Phase wird auch umso länger, je kleiner die Flexibilität der Wirtschaftssubjekte ist.

C. Resümee

Die Entwicklung der wirtschaftlichen Aktivität weist Phasen der Wachstumsverlangsamung und der -beschleunigung auf, verursacht durch Knappwerden eines bisher relativ freien Umweltfaktors. Solche verknappungsinduzierten Wachstumsschwankungen sind umso kleiner, je fähiger die Wirtschaftssubjekte sind, umweltfreundlichen technischen Fortschritt zu erzeugen.

§ 7 Zusammengefaßte Ergebnisse der Engpaß- ansätze

A. Annahme der Kontingentierung der Umweltfaktoren

Es wurde in allen engpaßtheoretischen Ansätzen unterstellt, daß die Gesellschaft einen schrankenlosen Abbau an Rohstoffen wie auch an Umweltqualitätsmerkmalen nicht zuläßt und deshalb zu jedem Zeitpunkt ihre Mindestumweltqualitäten bzw. -rohstoffreserven jeweils so festlegt, daß der Verbrauch dieser Faktoren für T-Perioden gesichert ist. Da die Umweltfaktoren Umweltqualität und Ressourcen nicht vermehrbar sein sollen, muß der langfristige Verbrauch mit der Rate $\frac{1}{T}$ zurückgehen. Begründet wurde dieses Verhalten mit dem Selbsterhaltungswillen einer jeden Generation. Die Abbaurate kann allerdings auch mit Hilfe des wohlfahrtstheoretischen Instrumentariums hergeleitet werden¹⁾.

B. Flexibilitätshypothese²⁾

In allen engpaßtheoretischen Ansätzen wurde ferner angenommen, daß die durch die Engpaßfaktoren hervorgerufenen Einkommensabweichungen vom Gleichgewichtspfad der wirtschaftlichen Aktivität für die Wirtschaftssubjekte Opportunitätskosten in gleicher Höhe verursachen. Diese Opportunitätskosten veranlassen nun die Wirtschaftssubjekte, direkt oder indirekt, die Abhängigkeit des Volkseinkommens von den Umweltfaktoren zu vermindern. Inwieweit es ihnen gelingt, hängt von der Flexibilität ab. Als indirekte Möglichkeiten zur Reduzierung der Umweltkoeffizienten wurde die Erhöhung der Substitutionselastizität, welche es zwischen einem Engpaß- und einem anderen Produktionsfaktor gibt, und die Erzeugung umweltfreundlichen Fortschritts vorgestellt.

1. Vgl. Beckmann, M.J., "A Note on the Optimal Rate of Resource Exhaustion", in: *Review of Economic Studies (Symposium)*, 1974, S. 121 f.

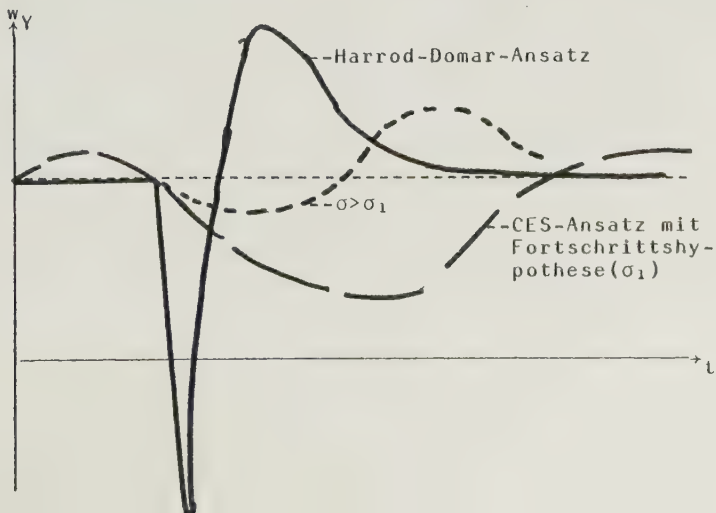
2. Siehe hierzu Falblatt, S. 225

Modelltyp des Engpaß-ansatzes	Harrod-Domar-Modell	CES - Funktion mit $\sigma(0) < 1$
Bezeichnung der Modelle	Ansatz mit dem Engpaßfaktor Umweltqualität	Ansätze mit einem Umweltfaktor als Engpaßfaktor der wirtschaftlichen Aktivität
Berücksichtigung der Flexibilitätshypothese im (in)	Schadstoffkoeffizient $b(t)$	der variablen der Relation der Substitutions- Distributionsparameter σ^* elastizität $\sigma^* \frac{a}{b}(t)$
kurzfristige Substitutionselastizität	$\sigma = 0$	$0 < \sigma < 1$
Merkmale der Überflußphase (Phase I)	1. Die wirtschaftliche Aktivität bewegt sich auf dem Gleichgewichtspfad mit der Rate $w_y(t) = n + F$. Bei $0 < \varepsilon < \infty$ wird in dieser Phase die Umweltabhängigkeit der wirtschaftlichen Aktivität ansteigen, welches sich durch steigende Umweltkoeffizienten bemerkbar macht. $w_b > 0$	1. Die Wachstumsraten des Sozialprodukts können die gleichgewichtige Rate übersteigen, $w_y > n + F$. Bei 0 < ε < ∞ wird in dieser Phase die Umweltabhängigkeit der wirtschaftlichen Aktivität ansteigen, welches sich durch steigende Umweltkoeffizienten bemerkbar macht. $w_z > 0$ je knapper $w_x > 0$

Merkmale der Umstrukturierungsphase (Phase II)	Sobald ein Umweltfaktor zum Engpaßfaktor der wirtschaftlichen Aktivität wird, findet ein Einkommenseinbruch statt, der dann durch positives Wachstum überwunden wird.	der Faktor, desto kleiner w_z	Die Wachstumsrate des Sozialprodukts verlangsamt sich, wobei es bei geringer Flexibilität zu Einkommensrückgängen kommen kann.
	Die Abhängigkeit der wirtschaftlichen Aktivität von den Engpaßfaktoren muß in dieser Phase erheblich gesenkt werden	$w_b < 0$ $w_x < 0$	Die Abbaurate des Umweltkoeffizienten verlangsamt sich zuerst und beschleunigt sich dann wieder
	$w_z < 0$ je knapper der Faktor, desto größer die Abbaurate	$w_x < 0$ $w_z < 0$	
Merkmale der Endphase (Phase III)	Die wirtschaftliche Aktivität folgt mit einer langfristigen Verzögerung r dem Gleichgewichtspfad $Y(K)$ und strebt damit auch an.	$r = \frac{1}{\varepsilon} \left(1 + \frac{1}{T(n+F)} \right)$	$r^* = \frac{1-\sigma}{\varepsilon \cdot \sigma} \left(1 + \frac{1}{T(n+F)} \right)$
	$w_{b_lfr} = -(n+F)$	$w_{x_lfr} = -(n+F + \frac{1}{r})$	

C. Verlauf der Wachstumsrate des Sozialprodukts

Die Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität schwankt in allen Engpaßansätzen, von Extremsituationen abgesehen um die gleichgewichtige Wachstumsrate $n+F$, der Wachstumsrate des Arbeitsangebotes, in Effizienzeinheiten gemessen. Das Ausmaß und die Form der Schwankungen hängen davon ab, ob die Umweltfaktoren bei einer Substitutionselastizität von null zum Engpaßfaktor der wirtschaftlichen Aktivität werden oder ob $0 < \sigma < 1$ kurzfristig möglich ist. Die temporären Wachstumsausschläge sind dann am stärksten, wenn die Substitutionselastizität sehr klein und die Flexibilität der Wirtschaftssubjekte sehr hoch ist. Ökonomisch sinnvoll zu erklären wäre eine solche Situation mit einer Volkswirtschaft, die umweltfreundliche Technologien bisher im Produktionsprozeß sehr wenig eingesetzt, obwohl diese Verfahren bekannt sind, und während der Verknappung gezwungen ist, die wirtschaftliche Aktivität stark umzustrukturieren. Je geringer die Substitutionselastizität bei gleichem Flexibilitätsindex ist, desto breiter ist das Wachstumstal und desto kleiner das Wachstumsminimum. Dies ist in Abb. XXIX zu ersehen.



VI. Gegenüberstellung der wichtigsten Ergebnisse in Bezug auf den Verlauf der Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität und der Abhängigkeit der wirtschaftlichen Aktivität von den Umweltfaktoren

§ 1 Verlauf der Wachstumsrate der wirtschaftlichen Aktivität unter Berücksichtigung der Umweltfaktoren

A. Die Bedeutung der Wachstumsgrenzen in den Ansätzen

1. Errechnung der Wachstumsgrenzen

Es besteht in den einzelnen Ansätzen kein Widerspruch darin, daß die Umweltfaktoren durch die heutige Generation in der wirtschaftlichen Aktivität überansprucht werden. Geht man von einem gelösten Informationsproblem aus, daß sich bei der Ermittlung der Qualitäten und Quantitäten der Umweltfaktoren wie Umweltqualitätsmerkmalen und Rohstoffen stellt, dann kann ein Zeithorizont errechnet werden, wann bei heutigem Verbrauch die totale Ausbeute der Umweltfaktoren erreicht sein wird.

2. Erreichung der Wachstumsgrenzen

Widersprüchliche Ansichten werden allerdings dann vertreten, wenn die Frage entschieden werden soll, ob die wirtschaftliche Aktivität jemals die Grenzen des Zeithorizonts erreicht. Während die wachstumspessimistischen Ansätze die Überbeanspruchung der Umweltfaktoren als ein Faktum des Niveaus der wirtschaftlichen Aktivität ansehen und folglich weiterem Wachstum kritisch gegenüber stehen, da sonst die Erreichung der totalen Ausbeute der Umweltfaktoren unausweichlich ist, gehen die wachstumsoptimistischen Ansätze von der bedingungstheo-

retischen Existenz eines umweltbewußten Entwicklungspfadcs der wirtschaftlichen Aktivität aus, der eine Annäherung an die Wachstumsgrenzen verhindert. Bei den in dieser Arbeit entwickelten engpaßtheoretischen Ansätzen wurde von einer gewissen intertemporalen Verteilung der Beanspruchung der Umweltfaktoren ausgegangen, die kurzfristig dominierend von der Nachfrage der Wirtschaftssubjekte und langfristig von dem Kontingentierungsverhalten der Gesellschaft bestimmt wird. Die totale Ausbeute der Umweltfaktoren wird dadurch verhindert. Der Einfluß eines solchen Kontingentierungsverhalten auf die wirtschaftliche Aktivität und deren Abhängigkeit von den Umweltfaktoren hängt allerdings von der Flexibilität der gesamten Volkswirtschaft ab.

3. Überschreiten der Wachstumsgrenzen

Die weitreichenden Folgen, die eine nahezu totale Erschöpfung bestimmter Umweltfaktoren auf die wirtschaftliche Aktivität und den Menschen hätte, werden von fast allen Ökonomen und anderen Wissenschaftlern gesehen. Unlösbarc Ernährungsprobleme und damit verbundene Gesundheitsprobleme wären die Folgen.

B. Lenkung der Entwicklungsrichtung der wirtschaftlichen Aktivität

1. Es wurde in den Ansätzen analysiert, inwieweit die wirtschaftliche Aktivität mit Hilfe von Umweltinvestitionen für Umweltschutz und Erschließung neuer Rohstoffquellen, von umweltfaktorenentlastendem technischen Fortschritt und der Substitutionselastizität (zwischen dem Engpaßfaktor und anderen Produktionsfaktoren) auf einen umweltbewußten Ent-

wicklungspfad gesteuert werden kann. Ferner wurde untersucht, inwieweit Umweltinvestitionen, technischer Fortschritt, Substitutionselastizität oder Umweltkoeffizienten direkt steuerbar sind und welchen Einfluß dies auf die Wachstumsrate der wirtschaftlichen Entwicklung hat.

2. In den postkeynesianischen und neoklassischen Ansätzen wurden u.a. die Einflüsse von Umweltinvestitionen, Forschungs- und Entwicklungskosten auf die Wachstumsrate eines umweltbewußten gleichgewichtigen Entwicklungspfad der wirtschaftlichen Aktivität analysiert. Sobald dieser umweltbewußte Entwicklungspfad des Volkseinkommens nicht durch exogen vorgegebene Größen erreicht werden konnte, sondern mit einem Einsatz an Investitionen verbunden war, verlangsamte sich die modifizierte gleichgewichtige Wachstumsrate des Volkseinkommens auf einen niedrigeren Wert als $n + F$, der Wachstumsrate der Arbeit, welche in Effizienzeinheiten gemessen wird.

3. Während nun Wachstumspessimisten der Meinung sind, daß weder die Lenkbarkeit der Entwicklung der wirtschaftlichen Aktivität möglich ist, noch die Wirtschaftssubjekte veranlaßt werden können, diesen Entwicklungspfad anzustreben, bejahen die Anhänger logarithmischer Wachstumsverläufe die Lenkbarkeit der wirtschaftlichen Aktivität, sind allerdings wachstumsskeptischer als die Neoklassiker, da sie abnehmende Grenzerträge bei Umwelt- bzw. Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen unterstellen und damit mit einem auslaufenden Wachstumsprozeß der wirtschaftlichen Aktivität rechnen.

4. In den engpaßtheoretischen Ansätzen hängt die Lenkbarkeit des notwendigen umweltbewußten technischen Fortschritts, der Substitutionselastizität

tät und der Umweltkoeffizienten außer von den Opportunitätskosten, welche durch die erzwungene Einkommensabweichung vom Gleichgewichtspfad für die Wirtschaftssubjekte entstehen, hauptsächlich von der Flexibilität der Volkswirtschaft bzw. der Wirtschaftssubjekte ab. Nimmt die volkswirtschaftliche Flexibilität durch zusätzliche Engpaßfaktoren oder durch Konzentrierung von Engpässen auf einen kleinen Zeitraum ab, dann kann sich für diese Phase die Wachstums skepsis der Anhänger logarithmischer Wachstumsverläufe bestätigen. Bei extremen Flexibilitäten sind sowohl wachstumspessimistische als auch -optimistische Ergebnisse denkbar.

C. Verlauf der Wachstumsrate des Sozialprodukts

Neoklassische und postkeynesianische Ansätze analysieren die Wachstumsrate auf dem Gleichgewichtspfad. Durch die Endogenisierung des technischen Fortschritts und durch die Umweltinvestitionen verringert sich die modifizierte gleichgewichtige Wachstumsrate. Während die pessimistischen Wachstumstheorien das Wachstum des Sozialprodukts im allgemeinen verneinen, gehen die Anhänger logarithmischer Wachstumsverläufe davon aus, daß exponentielles Wachstum in eine wachstumsverlangsamende Endphase einmündet, da die Umweltmaßnahmen stärker als die wirtschaftliche Aktivität ansteigen würden. Die Engpaßansätze gehen von Wachstumsschwankungen aus, die sich langfristig bei der Rate $n + F$ stabilisieren, es sei denn, es treten ständig neue Engpaßfaktoren auf. Diese Wachstumsschwankungen werden durch überschüssiges Angebot und Nachfrage bei den Umweltfaktoren verursacht. Frequenz und Ausmaß dieser Schwankungen hängen dabei u.a. von der Flexibilität, der Substitutionselastizität und dem umweltfreundlichen technischen Fortschritt ab.

§ 2 Verlauf der Umweltkoeffizienten bei Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität

Die Wachstumpessimisten gingen davon aus, daß die Beanspruchung der Umweltfaktoren vom Niveau der wirtschaftlichen Aktivität abhängt und nicht vom eingeschlagenen Entwicklungspfad der wirtschaftlichen Aktivität. Eine Reduzierung des Umweltkoeffizienten bei gleichzeitigem Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität ist in diesen Ansätzen nicht bzw. schlecht denkbar. Dagegen gehen die Anhänger logarithmischer Verläufe durchaus von einer ständigen Reduzierung der Umweltkoeffizienten aus. Sie sind allerdings der Meinung, daß die notwendigen Umweltinvestitionen auf Dauer die Wachstumsinvestitionen verdrängen werden.

Bei den Wachstumsoptimisten hängt die Beanspruchung der Umweltfaktoren durch die wirtschaftliche Aktivität von der Wahl des richtigen Entwicklungspfades ab. Technischer Fortschritt und Investitionen werden in umweltfreundliche Entwicklungen gelenkt. Die Verminderung der Umweltkoeffizienten hängt allerdings nicht nur von der Lenkbarkeit des technischen Fortschritts und der Investitionen ab, vielmehr auch von der herrschenden Substitutionselastizität. Bei einer Substitutionselastizität kleiner eins ist dies allerdings nur begrenzt möglich.

In den engpaßtheoretischen Ansätzen nehmen die Umweltkoeffizienten bei endlicher Flexibilität in Phasen überschüssigen Angebotes an Umweltfaktoren zu und in Phasen überschüssiger Nachfrage an Umweltfaktoren wieder ab. Langfristig nehmen sie dann mit den in den neoklassischen und postkeynesianischen Ansätzen ermittelten Raten ab.

§ 3 Intertemporale Verteilung der Umweltfaktoren

Während die Wachstumspessimisten die Befürchtung äußern, daß die Umweltfaktoren mit steigender Beanspruchung abgebaut werden, da die wirtschaftliche Tätigkeit bis zu den Wachstumsgrenzen die Knappheit der Umweltfaktoren nicht berücksichtigt, gehen die Wachstumsoptimisten von einer umgekehrten Verteilung aus. In den neoklassischen und post-keynesianischen Ansätzen wurde z.B. auf dem umweltbewußten Entwicklungspfad der wirtschaftlichen Aktivität von der Erhaltung einer bestimmten Umweltqualität oder von abnehmenden Ressourcenverbrauch ausgegangen.

Die engpaßtheoretischen Ansätzen zeichnen sich dadurch aus, daß der Verbrauch an Umweltfaktoren zunächst ansteigt, dann allerdings abfällt und sich neoklassischen Ergebnissen anpaßt. Dieses Verhalten kommt durch das Kontingentierungsverhalten der Gesellschaft zustande, das sich langfristig bei überschüssiger Nachfrage an Umweltfaktoren durchsetzt, kurzfristig allerdings von der Nachfrage der Wirtschaftssubjekte geprägt wird.

Es ist auch denkbar, daß eine optimale Abbaurate des Faktorenverbrauchs mit Hilfe der dynamischen Wohlfahrtstheorie ermittelt wird. Darauf wurde allerdings in dieser Arbeit nicht eingegangen.

§ 4 Stellenwert des Wachstums in den Theorien

Die neomalthusianische Richtung der Literatur vertritt die Meinung, daß die Ursache heutiger Umweltprobleme im weiteren Sinne im Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität liegt. Sie verneinen deshalb hauptsächlich das Wachstum des Sozialpro-

dukts in den Industrieländern. Die Annahmen, die der Meadow-Bericht setzte, wurden allerdings von einem großen Teil der ökonomischen Literatur in Zweifel gezogen.

Postkeynesianische und neoklassische Ansätze bejahen grundsätzlich das Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität, um eine gleichgewichtige Entwicklung von Arbeit und Kapital zu ermöglichen und machen für die Umweltverschmutzung und die Ressourcenknappheit eine falsche Entwicklungsrichtung der wirtschaftlichen Aktivität verantwortlich. Die Berücksichtigung der Umweltfaktoren in den Modellen führt hier allerdings in den meisten Ansätzen dazu, daß die modifizierten gleichgewichtigen Wachstumsraten nach unten korrigiert werden müssen. Die wohlfahrtstheoretischen Ansätze gehen davon aus, daß Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität von der Gegenwartspräferenz der Bevölkerung und der Unsicherheit über zukünftige Entwicklungen abhängt. Außerdem spielt der Nutzen aus zusätzlichem Konsum eine Rolle. Diese Tatbestände können dazu führen, daß der Stellenwert für Wachstum des Volkseinkommens gering eingeschätzt werden kann. In den engpaßtheoretischen Ansätzen ist das Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität langfristig das Ergebnis eines offenen Prozesses, indem es den Wirtschaftssubjekten trotz einer Konservierungspolitik bei den Umweltfaktoren gelang, Wirtschaftswachstum zu realisieren.

VII. Kontingentierungsverhalten bei wichtigen Umweltfaktoren

§ 1 Kontingentierungsverhalten bei verschie- denen Ressourcen¹⁾

In der internationalen Szenerie wurde schon oft versucht, das Angebot an bestimmten Ressourcen zu beschränken. Die Gründe dafür sind vielfältig. Sie gehen von erhofften Handelsgewinnen, politischen Zielen bis zur Erhaltung langfristiger Einnahmequellen für ein Land. Diese Kontingentierungsversuche scheiterten zumeist bei regenerierbaren Ressourcen, bei denen eine überschüssige Nachfrage herrschte und bei nicht regenerierfähigen Ressourcen, die noch für lange Zeiträume vorhanden sein werden.

A. Kartellierungsverhalten beim Rohöl

Beim Rohöl spricht vieles dafür, daß die engpaßtheoretischen Verhaltensweisen zutreffen. Es handelt sich um einen Rohstoff, der bei der wirtschaftlichen Aktivität der Industrieländer eine wesentliche Rolle spielt und auf dessen Verbrauch kurz- und mittelfristig nur schwer verzichtet werden kann. Diesem kurz- und mittelfristig schwer ersetzbaren Rohstoff steht außerdem noch der Wunsch der Erdölländer gegenüber, ihre Ölquellen für einen bestimmten Zeitraum zu erhalten. Der Erfolg eines Kartells wird umso wahrscheinlicher, je starrer die Nachfrage auf Angebotseinschränkungen reagiert und je mehr Ölländer ihre Ölreserven schützen wollen. Die zunehmende Übereinstimmung der Interessen dieser Länder würde folglich ein Kartell festigen. Dieses Kartellierungsverhalten würde die Rohölvorräte der Welt für größere Zeiträume bewahren und den Ländern die Möglichkeit geben, die notwendigen

1. Vgl. Pilgrim, Eberhard von, a.a.O., S. 211 ff.

Umstrukturierungen in ihren Ländern vorzunehmen.

B. Kontingentierungsverhalten bei regenerierbaren Ressourcen¹⁾

1. Festsetzung von Fischfangquoten innerhalb der 200-Meilen-Zone

Die Weltnachfrage nach Fisch war so stark gestiegen, daß die Meere überfischt wurden und der Bestand einzelner Fischpopulationen gefährdet war. Es gilt auch hier, daß einiges für die im Engpaßansatz aufgezeigten Verhaltensweisen spricht. Solange der Fisch in großen Mengen vorhanden war, wäre das Festlegen von Fischfangquoten weniger sinnvoll gewesen, Je knapper allerdings die Fischpopulationen werden, umso ökonomischer wird es für die einzelnen Staaten, küstennahe Fischfanggründe in ihrer Existenz zu sichern und diese im vermehrten Maße den eigenen Fischern zukommen zu lassen. Geht man davon aus, daß 83 % der Fischbestände sich in den küstennahen Schelfmeeren befinden, dann kann die Festlegung von Fischfangquoten innerhalb der 200-Meilen-Zone eine Maßnahme sein, die die Existenz der Fischbestände sichert und ausbaut.

2. Schutz von Tiergattungen, die zuvor ganz oder teilweise als Rohstoffe verwendet wurden

Während in vielen Staaten Wildtiere in ihrer Existenz durch das weidmännische Interesse der Jäger und Förster erhalten werden konnten, sind z.B. Wale, die sich vorwiegend im Hochseebereich aufhalten, in ihrer Existenz gefährdet.

1. Vgl. Rüster, Bernd, "Die Zukunft des blauen Planeten", in: Weltprobleme, hrsg.v. BLZ für pol. Bildung, München 1980, S. 179 ff.

§ 2 Konservierungsverhalten bei Umweltqualität

A. Verhalten im nationalen Bereich

Heute versucht man in der Bundesrepublik Deutschland und in anderen hochindustrialisierten Ländern, das weitere Absinken der Umweltqualitätsmerkmale wie beispielsweise Sauerstoffgehalt in Luft und Wasser, gutes Trinkwasser, Bewaldung und Ruhe zu verhindern. Da sich die wirtschaftliche Aktivität unterschiedlich in den einzelnen Landesteilen entwickelt und damit in einigen Gebieten noch eine hohe Umweltqualität vorherrscht, versuchen die Umweltministerien sowohl die hohe Umweltqualität in diesen Gebieten zu erhalten, als auch die zunehmende Verschmutzung in den Ballungsgebieten zu stoppen und auf einem erträglichen Niveau zu stabilisieren. Ein Beispiel für diese zweigeteilte Politik ist Rheinland-Pfalz, welches 18 % seiner Landesfläche als Naturparks ausgewiesen hat, und die Wasserqualität des Rheins, welche sich in den letzten Jahren nicht mehr weiter verschlechterte und sogar das Leben von Fischen wieder ermöglichte¹⁾. In den Großstädten versucht man, die Umweltqualität durch verkehrsberuhigte Zonen (Nicht-Durchfahrtsstraßen, Fußgängerzonen), zunehmende Begrünung u.ä. zu erhöhen.

B. Verhalten im internationalen Bereich

Fällt die Umweltpolitik z.B. für ein Flußsystem unter die Zuständigkeit mehrerer Staaten, dann besteht die Gefahr, daß einige Staaten dazu neigen, free-rider-Positionen einzunehmen.

1. Vgl. Umweltschutz in Rhld.-Pfalz, a.a.O., S. 29ff.

Die Chancen für eine Stabilisierung der Umweltqualität stehen allerdings bisher am schlechtesten bei den Ozeanen, in welche heute noch weitgehend ungeklärte Emissionen einfließen. Die Verschlechterung der Wasserqualität schreitet deshalb in den Ozeanen unaufhörlich weiter fort, ohne daß ein Ende abzusehen wäre. Bedenkt man, daß 70 % des Weltsauerstoffs durch die Planktontätigkeit in den Meeren produziert wird und daß *"die Oxydation von nur einem Liter Öl den in 40000 Litern Meerwasser gelösten Sauerstoff benötigt"*¹⁾, dann kann man sich die Verschmutzung und Beeinträchtigung der Sauerstoffproduktion vorstellen, die allein aufgrund undichter Bohrstellen im off-shore-Gebiet entsteht, wenn man berücksichtigt, daß die heutige Ölförderung schon zu 25 % aus solchen Meeresgebieten kommt.²⁾

Es wäre also festzustellen, daß aus heutiger Sicht ein Ende der Wasserverschmutzung der Meere nicht zu ersehen ist. Es bleibt nur zu hoffen, daß die Küstenstaaten durch die Gefährdung der Fischpopulationen in denen von ihnen kontrollierten küstennahen Schelfmeeren sich veranlaßt sehen, eine maritime Umweltpolitik zu betreiben.

1. Rüster, Bernd, a.a.O., S. 186

2. Ebenda, S. 186

VIII. Schlußbemerkungen

Ergebnis dieser Arbeit ist es, daß die knappwerdenden Umweltfaktoren Umstrukturierungen des volkswirtschaftlichen Produktionsprozesses bedingen. Inwieweit diese erforderlichen Umstrukturierungen Wachstumsverluste beim Volkseinkommen verursachen, hängt größtenteils von der Flexibilität der betreffenden Volkswirtschaft ab.

Aufgabe einer umfassenden Umweltpolitik muß es deshalb sein, eine umweltgerechte Strukturpolitik zu betreiben, durch welche die Flexibilität der gesamten Volkswirtschaft gesteigert werden kann.

Die Umstrukturierungen des volkswirtschaftlichen Produktionsprozesses verursacht ferner Wachstumsschwankungen. Diese Wachstumsschwankungen der wirtschaftlichen Aktivität werden stets von neuem angeregt, wenn bisher unbeachtete Emissionsstoffe und Rohstoffe in ihrer Wichtigkeit erkannt werden und kontingentiert werden müssen. Eine weitere Aufgabe der Umweltpolitik muß es folglich sein, dazu beizutragen, daß Schäden bisher unbeachteter Emissionsstoffe frühzeitig erkannt werden.

Literaturverzeichnis

- d'Arge, R.C., "Essay on Economic Growth and Environmental Quality", in: *Swedish Journal of Economics*, Bd. 73 (1971), S. 25 - 41
- Baumol, William J. und Oates, Wallace E., "The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment", in: *The Swedish Journal of Economics*, Bd. 73 (1971), S. 42 - 54
- Beckmann, M.J., "A Note on the Optimal Rate of Resource Exhaustion", in: *Review of Economic Studies (Symposium)*, 1974, S. 121 f.
- Bender, Dieter, Makroökonomik des Umweltschutzes, Göttingen 1976
- Bombach, G., Diskussion in: *Bild der Wissenschaft*, Heft Nr. 1. Jan. 1973, S. 10
- Boylan, E.S., The System Dynamics Approach to Modelling World-wide Interactions: A Critical Analysis; Paper while a Consultat to the Hudson Institute, New York 1972
- Dasgupta, Partha und Heal, Geoffrey, "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources", in: *Review of Economic Studies, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources*, 1974, S. 3 - 28

- Davison, R., "Optimal Depletion of an Exhaustible Resource with Research and Development Towards an Alternative Technology", in: *Review of Economic Studies*, Vol. 45 (1978), S. 355 - 367
- Fisher, A.C., Krutilla, I.V., und Chichetti, Ch.J., "The Economics of Environmental Preservation: A Theoretical and Empirical Analysis", in: *American Review*, Bd. 62 (1972), S. 605 - 619
- Forster, Bruce A., "A Note on Economic Growth and Environmental Quality", in: *The Swedish Journal of Economics*, Vol. 74(2/1972), S. 281 - 285
- Frey, Bruno S., "Unorthodoxe Ökonomen", in: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium(Wist)*, Febr. 1977, S. 49 - 53
- Gordon, R.L., "A Reinterpretation of the Pure Theory of Exhaustion", in: *Journal of Political Economy*, 1975, S. 274 - 286
- Hartwick, John M., "Substitution Among Exhaustible Resources and Intergenerational Equity", in: *Review of Economic Studies*, 1978, Bd. 45(2), S. 347 - 354

- Herfindahl, O., "Depletion and Economic Theory", in: *Extractive Resources and Taxation*, hrsg.v. M. Geoffrey, Madison 1967
- Hogan, William und Manne, Alan, "Resources for the Future", in: *Modelling Energy Economy Interactions: Five Approaches*, hrsg. v. Charles Hitch, 1978
- Hotelling, H., "The Economics of Exhaustible Resources", in: *Journal of Political Economy*, Vol. 39(1931), S. 137 ff.
- Ingham, A. und Simmons, P., "Natural Resources and Growing Population", in: *Review of Economic Studies*, Vol. 42(1975), S. 191 - 206
- Isard, W., u.a., *Ecologic Economic Analysis for Regional Development*, New York 1972
- Kamien, Morton I. und Schwartz, Nancy L., "Optimal Exhaustible Resource Depletion with Endogenous Technical Change", in: *Review of Economic Studies*, Vol. 45(1978), S. 179 - 196

- Kneese, A.V., "The Economics of Regional Water Quality Management", Baltimore 1964
- "Background for the Economic Analysis of Environmental Pollution", in: *The Swedish Journal of Economics*, Bd. 73 (1971), S. 1 - 24
- Kornai, Janos, Anti-Äquilibrium, Berlin-Heidelberg 1975
- Meadow, D.H., The Limits to Growth, New York 1972
- Mesarovic, Mihailo und Pestel, Eduard, Menschheit am Wendepunkt, 2. Bericht an den Club of Rome zur Weltlage, Stuttgart 1974
- McCain, Roger A., "Endogenous Bias in Technical Progress and Environmental Policy", in: *The American Economic Review*, Vol. 68(1978), S. 538 - 546
- Nelson, R.R. und Winter, S.G., "Growth Theory from an Evolutionary Perspektive, in: *American Economic Review*, Vol. 65 (1975), S. 338 - 344

- Opitz, Peter J., Einführung, in: Weltprobleme, hrsg.v. BLZ für pol. Bildungsarbeit, München 1980, S. 15 -28
- Pethig, R., Umweltökonomische Allokation mit Emissionssteuern, Tübingen 1979
- Pigou, A.C., The Economics of Welfare, 1. Auflage, London 1920
- Pilgrim, Eberhard von, Internationale Rohstoffprobleme in der Diskussion, in Weltprobleme, hrsg.v. BLZ für pol. Bildungsarbeit, München 1980, S. 211 - 241
- Ramsey, Frank P., "A Mathematical Theory of Saving", in: *Economic Journal*, Vol. 38(1928), S. 543 - 559
- Robson, Arthur J., "Sequential Exploitations of Uncertain Deposits of a Depletable Natural Resource", in: *Journal of Economic Theory*, Vol. 21(1979), S. 88 ff.
- Rose, Klaus, "Der Erkenntniswert der Wachstumsmodelle", in: *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, Bd. 168(1956), S. 321 ff.
- Grundlagen der Wachstumstheorie, Göttingen 1973

- Rüster, Bernd, Die Zukunft des blauen Planeten, in: Weltprobleme, hrsg.v. BLZ für pol. Bildungsarbeit, München 1980, S. 179 - 209
- Ruhenstroth-Bauer, Wolfgang, Wachstum des Hungers, in: Weltprobleme, hrsg.v. BLZ für pol. Bildungsarbeit, München 1980, S. 83 - 104
- Schimmang, Wolf, Industrialisierung und Ökologie, in: Weltprobleme, hrsg.v. BLZ für pol. Bildungsarbeit, S.125-45
- Schädle, Werner, Trockenzonen der Erde - Die Natur hat die Balance verloren!, in: Weltprobleme, hrsg.v. BLZ für pol. Bildungsarbeit, München 1980, S. 147 - 177
- Schmid, Josef, Das Weltbevölkerungsproblem und die Vereinten Nationen, in: Weltprobleme, hrsg.v. BLZ für pol. Bildungsarbeit, München 1980, S. 29 - 80
- Schuler, Richard E., "The Long Run Limits to Growth: Renewable Resources, Endogenous Population and Technical Change", in: *Journal of Economic Theory*, Vol. 21 (Aug. 79)
- Scott, A., "The Theory of the Mine Under Conditions of Certainty", in: Extractive Resources and Taxation, hrsg.v. M. Gaffney, Madison 1967

- Siebert, Horst, Ökonomische Theorie der Umwelt,
Tübingen 1978
- Umwelt und wirtschaftliche Entwicklung, 1979
- Smith, Vernon L., "An Optimistic Theory of Exhaustible Resource", in: *Journal of Economic Theory*, Vol. 9 (1974), S. 384 - 396
- Solow, Robert M., "Intergenerational Equity and Exhaustible Resources", in: *Review of Economic Studies, Symposium on the Economic of Exhaustible Resources*, 1974, S. 29 - 45
- "Resources and Economic Growth", in: *The American Economist*, Vol. 22 (Fall 1978), S. 5 - 11
- Stiglitz, Joseph E., "Growth with Exhaustible Natural Resources:
I. Efficient Optimal Paths", S. 123 - 137
II. The Competitive Economy", S. 139 - 152,
in: *Review of Economic Studies, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources*, 1974
- "Monopoly and the Rate of Extraction of Exhaustible Resources", in: *American Economic Review*, Vol. 66 (1976), S. 655-61

- Strøm, S., "Economic Growth and Biological Equilibrium", in: *Swedish Journal of Economics*, Bd. 75 (1973), S. 166 ff.
- Suzuki, Hideo, "On the Possibility of Steadily Growing per Capital, Consumption in an Economy with a Wasting and Non-Replenishable Resource", in: *Review of Economic Studies*, Vol. 43(1976), S. 527 - 535
- Sweeney, James L., "Economics of Depletable Resources. Market Forces and Intertemporal Bias", in: *Review of Economic Studies*, Vol. 44 (1977), S. 125 - 141
- Tinbergen, Jan, Wir haben nur eine Zukunft, Rio-Bericht an den Club of Rome, 1977
- Vester, Frederic, "Prinzip und Bedeutung kybernetischer Technologien", in: *Wirtschaftspolitik in der Umweltkrise*, hrsg.v. Jörg Wolff, Stuttgart 1974, S. 234 - 244
- Weinstein, Milton C. und Zeckhauser, Richard J., "The Optimal Consumption of Depletable Natural Resources", in: *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 89(1975), S. 371 - 392
- Windisch R., "Coase-Paradigma versus Pigou-Paradigma: Über Information und Motivation als Grundfragen dezentralisierter Umweltkontrolle", in: *Zeitschrift für Nationalökonomie*, Bd. 35(1975), S. 345 - 390

Zeichenerklärung

- a
 - in den postkeynesiansischen Ansätzen:
Arbeitskoeffizient
 - in den wohlfahrtstheoretischen Ansätzen:
Arbeitsintensität
 - in der CES-Funktion: Distributionsparameter
- b
 - Schadstoffkoeffizient
 - in der CES-Funktion: Distributionsparameter
- c
 - Konsumquote
- e
- exp
 - Exponentialfunktion
- f
 - Funktionszeichen
- g
 - Konstante
- h
 - hicksneutraler Fortschritt
- i
 - Investitionsquote
 - i_r = Rationalisierungsinvestitionsquote
 - i_u = Umweltinvestitionsquote
 - i_p = Produktivinvestitionsquote
 - i_R = Ressourceninvestitionsquote
- k
 - Kapitalkoeffizient
 - Kapitalintensität
- ke
 - Kapitalintensität in Effizienzeinheiten
- k_p
 - Anteil des Produktivkapitals am Gesamtkapitals
- k_r
 - Anteil des für Rohstoffe benötigten K
- l
 - Lohnsatz
- n
 - Bevölkerungswachstum, Wachstum des Arbeitsangebotes
- p
 - Preis für Ressourcen
 - Konstante

- q - Emissionssteuersatz
- Konstante
- r, r* - Verzögerung
- r_K - Rohstoffintensität
- r - Gewinnquote

- s - Sparquote
- Zeitindex, Index für Umweltfaktoren
- t - Zeitindex

- v - Verbrauchskoeffizient
- Verbrauchsintensität
- w - Wachstumsrate
- x - Rohstoffkoeffizient
- y - Pro-Kopf-Einkommen
- ye - Pro-Kopf-Einkommen in Effizienzeinheiten
- z - Zins
- aggregierter Arbeits- und Kapitalkoeffizient
- Umweltkoeffizienten

- A - Assimilationskapazität
- Arbeitsangebot
- Ae - Arbeitspotential in Effizienzeinheiten
- C - Konsum
- C* - Pro-Kopf-Konsum
- Ce - Konsum in Effizienzeinheiten
- F&E - Forschung und Entwicklung
- F - harrodneutraler Fortschritt
- technischer Fortschritt
- G - Gewinn, Funktionszeichen
- H - Hamiltonfunktion

- I - Investitionen
- I_u, I_Q - Umweltinvestitionen
- Ir - Rationalisierungsinvestitionen
- Ip - Produktivinvestitionen

- K - Kapital
- Ku - Umweltkapital
- Kr - Kapital zur Vermehrung von Ressourcen
- Kp - Produktivkapital

- K_Q - Umweltkosten

- L - Lohneinkommen
- M - Matrix
- N - Nutzen
- P - Verschmutzung, Emissionen
- PA - Emissionsangebot
- PN - Emissionsnachfrage
- P^* - staatlich fixierte Verschmutzungsquote
- PB - Emissionsbeseitigung

- Q - Umweltqualität
- Q^* - staatlich garantierte Mindestumweltqualität
in Zeitpunkt t
- QN - Nachfrage nach Umweltgütern
- QA - Angebot an Umweltgütern

- R - Rohstoffe
- R^* - staatlich garantierte Mindestvorräte in t
- RN - Rohstoffnachfrage
- RA - Rohstoffangebot

- T - Zeithorizont
- U - umweltfreundlicher Fortschritt
- V - Verbrauch an Umweltgütern
- V_R - Verbrauch an Ressourcen
- W - Nutzen aus neuer Technologie
- Y - Volkseinkommen

- Z - Zinseinkommen
- Kombination von K und A
- Z - Engpaßfaktoren

α	- Produktionselastizität
β	- "
γ	- "
δ	- Diskontrate
ϵ	- Flexibilität
ζ	- Konstante , Elastizität des Konsums
ρ	- Produktivität
ρ_p	- Produktivität des K_p
ρ_u	- Produktivität des Umweltkapitals
ρ_K	- Produktivität des K
ρ_r	- Produktivität des Kapitals K_R
σ	- Substitutionselastizität
τ	- Zeitindex
ϕ	- Wahrscheinlichkeitsfkt.
ψ	- "
ω	- Wachstum des Konsums
θ	- Wahrscheinlichkeitsfunktion
λ	- Schattenpreise
η	- Fortschritt
κ	- gleichgewichtiges k

Ich, Karl Manfred Sauer, geboren am 14. August 1953 in Mainz als Sohn des Landwirts Helmut Sauer und seiner Frau Else, geborene Wittmann, wohnhaft in Bechenheim, besuchte ab 1960 die Volksschule in Offenheim und Weinheim.

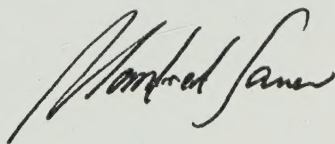
1968 begann ich eine landwirtschaftliche Lehre, die ich allerdings ein Jahr später wieder abbrach, und wechselte 1969 auf die staatliche zweijährige Handelsschule Kirchheim-Bolanden.

Meine Hochschulreife erlangte ich am 10. Mai 1974 an dem dreijährigen Wirtschaftsgymnasium der Staatlichen Gustav Stresemann-Wirtschaftsschule Mainz.

Anschließend studierte ich an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz neun Semester Volkswirtschaftslehre.

Meine nachfolgende Promotion wurde am 16. Dezember 1981 in Mainz abgeschlossen.

Offenheim, den 25. Februar 1982

A handwritten signature in black ink, reading "Manfred Sauer". The signature is written in a cursive style with a large, sweeping initial 'M'.

